



TUGAS AKHIR RC-14-1501

**MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN  
LAGOON RESORT TOWER A BEKASI DENGAN  
MENGUNAKAN SISTEM GANDA DAN BALOK  
PRATEKAN PADA LANTAI 18**

YOGI DWI HAKIKI PUTRA  
NRP. 03111645000022

Dosen Pembimbing I:  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 19700201 199512 2 001

Dosen Pembimbing II:  
Dr. Ir.Djoko Irawan, MS.  
NIP. 19590213 198701 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



---

TUGAS AKHIR RC-14-1501

**MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN  
LAGOON RESORT TOWER A BEKASI DENGAN  
MENGUNAKAN SISTEM GANDA DAN BALOK  
PRATEKAN PADA LANTAI 18**

YOGI DWI HAKIKI PUTRA  
NRP. 03111645000022

Dosen Pembimbing I  
Endah Wahyuni, S.T, M.Sc, Ph.D.

Dosen Pembimbing II  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018

***Halaman ini sengaja dikosongkan***



FINAL PROJECT RC-14-1501

**STRUCTURAL MODIFICATION OF LAGOON  
RESORT TOWER A APARTMENT BUILDING IN  
BEKASI USING DUAL SYSTEM AND PRESTRESSED  
CONCRETE BEAMS AT 18<sup>TH</sup> FLOOR**

YOGI DWI HAKIKI PUTRA  
NRP. 03111645000022

Supervisor I  
Endah Wahyuni, S.T, M.Sc, Ph.D.

Supervisor II  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS.

DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil, Environmental, and Geo-Engineering  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2018



***Halaman ini sengaja dikosongkan***

**MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN  
LAGOON RESORT TOWER A BEKASI DENGAN  
MENGUNAKAN SISTEM GANDA DAN BALOK  
PRATEKAN PADA LANTAI 18**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Program Studi S-1 Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**YOGI DWI HAKIKI PUTRA**  
NRP. 03111645000022

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Endah Wahyuni, S.T, MSc, Ir.
2. Dr. Ir. Djoko Irawan, MS.



SURABAYA, JULI 2018

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

# **MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN LAGOON RESORT TOWER A BEKASI DENGAN MENGUNAKAN SISTEM GANDA DAN BALOK PRATEKAN PADA LANTAI 18**

**Nama Mahasiswa** : Yogi Dwi Hakiki Putra  
**NRP** : 03111645000022  
**Departemen** : Teknik Sipil FTSLK-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Endah Wahyuni, S.T, M.Sc, Ph.D.  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS.

## **Abstrak**

*Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A merupakan sebuah gedung yang terletak di wilayah Bekasi, Jawa Barat. Gedung tersebut memiliki 19 lantai ( $\pm 61,80\text{m}$ ) dan akan dimodifikasi dengan menambahkan 1 lantai sehingga menjadi 20 lantai ( $\pm 63,80\text{m}$ ). Penambahan 1 lantai diletakkan di lantai 17 yang berfungsi sebagai ruang pertemuan. Ruang pertemuan didesain bebas dari kolom sehingga ruangan akan terlihat lebih nyaman dan luas. Karena terbebas dari kolom, balok menjadi lebih panjang dan harus didesain menggunakan beton pratekan sehingga dimensi balok tidak terlalu besar. Dari hasil perhitungan, didapatkan gaya pratekan awal sebesar 1600kN dengan kehilangan pratekan sebesar 27,22%.*

*Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A Bekasi direncanakan agar mampu memikul beban gempa. Sistem penahan gaya gempa yang digunakan adalah sistem ganda dimana beban gravitasi sepenuhnya dipikul oleh rangka utama sedangkan beban lateral dipikul bersama oleh rangka utama dan dinding geser. Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A Bekasi masuk pada kategori desain seismik D, sehingga perencanaan menggunakan Sistem Ganda dibagi menjadi Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Struktur Beton*

*Khusus (DSBK). Dari hasil analisa yang telah dilakukan, rangka pemikul momen menahan gempa arah X sebesar 25,06% dan arah Y sebesar 29,74%, sedangkan sisanya diterima oleh dinding geser.*

***Kata kunci: Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A  
Bekasi, Balok Pratekan, Sistem Ganda, SRPMK,  
DSBK, Dinding Geser***

# **STRUCTURAL MODIFICATION OF LAGOON RESORT TOWER A APARTMENT BUILDING IN BEKASI USING DUAL SYSTEM AND PRESTRESSED CONCRETE BEAM AT 18<sup>TH</sup> FLOOR**

**Student Name** : Yogi Dwi Hakiki Putra  
**NRP** : 03111645000022  
**Departement** : Civil Engineering FTSLK-ITS  
**Supervisors** : Endah Wahyuni, S.T, M.Sc, Ph.D.  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS.

## **Abstract**

*Apartment Lagoon Resort Tower A is a located in Bekasi, West Java. It has 19 floors ( $\pm 61,80$  m) and is modified by adding 1 floor to 20 floors ( $\pm 63,80$ m). The addition floor is placed on the 17th floor which serves as a meeting room. The meeting room is designed to be free of columns so that room will look more comfortable and spacious. Because it is free of columns, the beam must be planned using prestressed concrete beam because of its long span. It on long spans aims to make the dimensions of the beam not too large. From the calculation result, prestressed force obtained at 1600kN with loss of prestress equal to 27,22%*

*Apartment Building Lagoon Resort Tower A Bekasi planned to be able to bear the burden of the earthquake. An earthquake-resisting system used is a dual system where the gravitational load is entirely borne by the main frame while the lateral load is shared by the main frame and shear wall. Lagoon Resort Tower Tower Building Bekasi belongs to the category of seismic design D, so the planning of using Dual System is divided into Special Moment Resisting Frame (SMRF) and Special Reinforced Concrete Shear Wall (SRCSW). From the results of the analysis that has been done, moment resisting frame hold*

*earth quake X 25.06% and Y direction of 29.74%. And the other carried by shear wall.*

***Key Words: Lagoon Resort Tower A Bekasi Building Apartment, Prestressed Concrete Beam, Dual System, SMRF, SRC SW, Shear Wall***

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas berkah dan rahmatnya, penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A Bekasi dengan Menggunakan Sistem Ganda dan Beton Pratekan pada Lantai 18”.

Tersusunnya Laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada:

1. Kedua orang tua dan saudara-saudara kami tercinta, sebagai penyemangat terbesar bagi kami, yang telah banyak memberikan dukungan moral maupun materiil, serta do'anya.
2. Bapak Tri Joko wahyu Adi, S.T, M.T, Ph.D selaku ketua Jurusan Teknik Sipil ITS.
3. Bapak Dr. techn. Umboro Lasminto, S.T, M.Sc, selaku koordinator Program Studi Sarjana Teknik Sipil ITS.
4. Ibu Endah Wahyuni, S.T, M.Sc, Ph.D dan Bapak Dr. Ir. Djoko Irawan, MS. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan dan motivasi dalam penyusunan laporan tugas akhir.
5. Bapak-Ibu dosen pengajar Jurusan Teknik Sipil ITS atas ilmu yang telah diajarkan serta perangkat karyawan yang turut membantu.
6. Teman-teman terdekat kami yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuan dan saran-saran yang telah diberikan selama proses pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.



Akhir kata, semoga apa yang penulis sajikan dalam laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, penulis dan semua pihak.

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	I
TUGAS AKHIR.....	V
ABSTRAK.....	VII
ABSTRACT.....	IX
KATA PENGANTAR.....	XI
DAFTAR ISI.....	XIII
DAFTAR GAMBAR .....	XVII
DAFTAR TABEL.....	XXI
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    LATAR BELAKANG .....	1
1.2    RUMUSAN MASALAH .....	3
1.3    TUJUAN .....	3
1.4    BATASAN MASALAH.....	4
1.5    MANFAAT.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1    UMUM.....	7
2.2    SYARAT PERENCANAAN DIMENSI PENAMPANG.....	8
2.2.1    Tebal Minimum Pelat .....	8
2.2.2    Dimensi Balok Non-Pratekan .....	11
2.2.3    Dimensi Balok Pratekan .....	11
2.2.4    Dimensi Kolom .....	12
2.2.5    Tebal Dinding Geser.....	12
2.3    PEMBEBANAN DAN KOMBINASI BEBAN .....	12
2.3.1    Beban mati.....	12
2.3.2    Beban hidup.....	13
2.3.3    Beban Angin.....	13
2.3.4    Beban Gempa .....	13
2.3.5    Kombinasi Pembebanan .....	23
2.4    PENULANGAN PADA BETON BERTULANG .....	23

2.4.1	Penulangan Lentur .....	23
2.4.2	Penulangan Geser .....	25
2.4.3	Penulangan Torsi .....	26
2.4.4	Penulangan Aksial .....	27
2.5	SISTEM GANDA (DUAL SYSTEM).....	30
2.5.1	Pesyaratan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) .....	31
2.5.2	Persyaratan Dinding Struktur Beton Khusus (DSBK) .....	43
2.6	BETON PRATEKAN.....	49
2.6.1	Pengertian Beton Pratekan .....	49
2.6.2	Tegangan Ijin Pada Baja dan Beton .....	50
2.6.3	Metode Sistem Pratekan .....	51
2.6.4	Prinsip Dasar Beton Pratekan .....	54
2.6.5	Kehilangan Gaya Pratekan.....	57
2.6.6	Momen Retak pada Beton Pratekan .....	63
2.6.7	Momen Nominal pada Beton Pratekan .....	64
2.6.8	Geser Nominal pada Beton Pratekan .....	65
2.6.9	Lendutan pada Beton Pratekan .....	66
2.7	PONDASI.....	66
2.7.1	Pemilihan Bentuk pondasi .....	66
2.7.2	Daya Dukung Ijin Tiang .....	68
BAB III METODOLOGI .....		71
3.1	BAGAN ALIR Pengerjaan Tugas Akhir .....	71
3.2	PENGUMPULAN DATA .....	73
3.3	STUDI LITERATUR .....	73
3.4	MENETUKAN SISTEM STRUKTUR .....	73
3.5	PERENCANAAN DIMENSI STRUKTUR (PRELIMINARY DESIGN) .....	75
3.5.1	Metodologi Perencanaan Tebal Pelat .....	75
3.5.2	Metodologi Perencanaan Dimensi Balok .....	75
3.5.3	Metodologi Perencanaan Dimensi Balok Pratekan .....	75
3.5.4	Metodologi Perencanaan Dimensi Kolom .....	76
3.5.5	Metodologi Perencanaan Tebal Dinding Geser.....	76
3.6	PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER .....	76

3.6.1	Penulangan Pelat .....	76
3.6.2	Penulangan Balok Anak .....	77
3.6.3	Penulangan Tangga.....	78
3.7	PEMBEBANAN .....	79
3.7.1	Pembebanan pada Struktur .....	79
3.7.2	Langkah-langkah Perhitungan Beban Gempa Respons Dinamik .....	80
3.8	PEMODELAN DAN ANALISIS STRUKTUR .....	80
3.8.1	Permodelan Struktur .....	80
3.8.2	Analisa struktur .....	81
3.9	PERHITUNGAN STRUKTUR UTAMA NON-PRATEKAN 81	
3.9.1	Penulangan Balok Induk.....	81
3.9.2	Penulangan Kolom .....	83
3.9.3	Penulangan Dinding Geser .....	84
3.10	PERHITUNGAN STRUKTUR UTAMA BALOK PRATEKAN.....	84
3.10.1	Metode Pelaksanaan Balok Pratekan .....	84
3.10.2	Perhitungan Balok Pratekan.....	86
3.11	KONTROL PERSYARATAN.....	87
3.12	PERENCANAAN PONDASI.....	87
3.12.1	Analisa Data Tanah .....	87
3.12.2	Pemilihan Pondasi .....	87
3.12.3	Perhitungan Daya Dukung Tiang.....	87
3.12.4	Perencanaan Konfigurasi Tiang .....	88
3.12.5	Penulangan Pile Cap.....	88
3.13	GAMBAR OUTPUT .....	89
BAB IV PEMBAHASAN .....		91
4.1	PRELIMINARY DESAIN.....	91
4.1.1	Perencanaan Tebal Pelat .....	91
4.1.2	Perencanaan Dimensi Balok .....	97
4.1.3	Perencanaa Dimensi Kolom.....	99
4.1.4	Perencanaan Tebal Dinding Geser .....	103
4.2	PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER .....	104

4.2.1	Perencanaan Pelat .....	104
4.2.2	Perencanaan Tangga .....	111
4.2.3	Perencanaan Balok Anak .....	125
4.2.4	Perencanaan Balok Lift.....	138
4.2.5	Perencanaan Balok Bordes .....	147
4.3	PEMBEBANAN.....	154
4.3.1	Beban Gravitasi .....	154
4.3.2	Beban Angin.....	156
4.3.3	Beban Gempa .....	161
4.4	PEMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR.....	166
4.4.1	Perioda Fundamental Struktur, T .....	170
4.4.2	Gaya Geser Dasar, V.....	172
4.4.3	Sistem Ganda.....	175
4.4.4	Simpangan (Drift).....	176
4.4.5	Ketidakteraturan Torsi .....	180
4.4.6	Partisipasi Massa .....	181
4.5	PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER .....	182
4.5.1	Perencanaan Balok Induk Non-Pratekan.....	182
4.5.2	Perencanaan Kolom.....	212
4.5.3	Hubungan Balok Kolom (HBK) .....	228
4.5.4	Perencanaan Dinding Geser.....	236
4.5.5	Perencanaan Balok Pratekan.....	247
4.6	PERENCANAAN PONDASI.....	315
4.6.1	Daya Dukung Ijin Tiang .....	315
4.6.2	Penentuan Jumlah Tiang dan Konfigurasi Tiang ..	323
4.6.3	Perencanaan Pile Cap .....	328
4.6.4	Perencanaan Sloof .....	337
BAB V PENUTUP.....		345
5.1	KESIMPULAN.....	345
5.2	SARAN.....	349
DAFTAR PUSTAKA.....		351

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ss, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER).....	18
Gambar 2.2	S1, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER).....	19
Gambar 2.3	Spektrum Respons Desain .....	21
Gambar 2.4	Lentur Tulangan Tunggal.....	24
Gambar 2.5	Nilai k Rangka Tak Bergoyang .....	28
Gambar 2.6	Nilai k Rangka Bergoyang .....	29
Gambar 2.7	Pemasangan Tulangan Transversal Pada Balok	33
Gambar 2.8	Geser Desain Untuk Balok dan Kolom .....	36
Gambar 2.9	Pemasangan Tulangan Transversal Pada Kolom .....	38
Gambar 2.10	Luas Joint Efektif.....	42
Gambar 2.11	Dinding dengan Bukaannya.....	46
Gambar 2.12	Rasio Tulangan Longitudinal Untuk Kondisi Pembatas Dinding Tipikal.....	49
Gambar 2.13	Ilustrasi Beton Pratekan Pratarik (Soetoyo,2015) .....	52
Gambar 2.14	Ilustrasi Beton Pratekan Pascatarik (Soetoyo,2015).....	53
Gambar 2.15	Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris (Soetoyo,2015).....	55
Gambar 2.16	Momen Penahan Internal pada Balok Beton Prategang dan Beton Bertulang (Soetoyo,2015)	56
Gambar 2.17	Balok Prategang dengan Tendon Parabola (Soetoyo,2015).....	57
Gambar 2.18	Perpendekan Elastis Beton Prategang Sistem Pratarik dengan Gaya Prategang di Pusat Garis Netral (Soetoyo,2015).....	58
Gambar 2.19	Perpendekan Elastis Beton Prategang Sistem Pascatarik dengan Kabel eksentris (Soetoyo,2015).....	58

Gambar 2.20	Kehilangan Gaya Prategang Akibat Gesekan (Soetoyo,2015).....	60
Gambar 2.21	Skematik Diagram Momen Retak (Lins dan Burns,2000).....	64
Gambar 3.1	Pemasangan Scaffolding dan Balok-balok Suri.	85
Gambar 3.2	Pemasangan Bekisting, pipa selongsong, dan Tendon .....	85
Gambar 3.3	Proses Jacking Balok Pratekan.....	86
Gambar 4.1	Pelat Tipe 7 .....	91
Gambar 4.2	Lebar Slab Efektif Balok 40/60 Interior .....	92
Gambar 4.3	Lebar Slab Efektif Balok 30/50 Interior .....	94
Gambar 4.4	Lebar Slab Efektif Balok 40/60 Eksterior .....	95
Gambar 4.5	Denah Distribusi Beban Yang Disalurkan ke Kolom .....	100
Gambar 4.6	Tebal Efektif Pelat, $d_x$ .....	107
Gambar 4.7	Tebal efektif Pelat, $d_y$ .....	108
Gambar 4.8	Penulangan Pelat Tipe 1 .....	110
Gambar 4.9	Tangga Tipe 1 .....	112
Gambar 4.10	Mekanika Teknik Tangga .....	114
Gambar 4.11	Potongan A-B Pada Tangga .....	115
Gambar 4.12	Potongan A-B Pada Tangga .....	116
Gambar 4.13	Bidang Normal (N) pada Tangga .....	118
Gambar 4.14	Bidang Lintang (D) pada Tangga .....	118
Gambar 4.15	Bidang Momen (M) pada Tangga .....	119
Gambar 4.16	Balok Anak Tipe 6 dan Tributari Pembebanan pada Balok Anak.....	126
Gambar 4.17	Mekanika Teknik Balok Anak .....	128
Gambar 4.18	Gaya Geser Balok Anak pada Muka Join.....	132
Gambar 4.19	Gaya Geser Balok Anak pada Daerah Lapangan .....	135
Gambar 4.20	Denah Pembalokan pada Ruang Lift .....	139
Gambar 4.21	Ukuran Denah pada Brosur Iris List tampak Atas .....	140

Gambar 4.22	Ukuran Denah pada Brosur Iris List tampak Samping.....	140
Gambar 4.23	Mekanika Teknik Balok Lift .....	141
Gambar 4.24	Gaya Geser Balok lift pada Muka Join.....	144
Gambar 4.25	Mekanika Teknik pada Balok Bordes .....	148
Gambar 4.26	Gaya Geser Balok Bordes pada Muka Join .....	152
Gambar 4.27	Grafik Hubungan Antara Perioda ( $T$ ) dengan Spektrum Respons Percepatan desain ( $S_a$ ).....	166
Gambar 4.28	Permodelan Struktur Tampak Atas .....	167
Gambar 4.29	Permodelan Struktur 3D.....	167
Gambar 4.30	Ketidakteraturan Torsi Pada Struktur .....	180
Gambar 4.31	Geser Desain Untuk Balok.....	201
Gambar 4.32	Diagram Interaksi Antara Gaya Aksial dan Momen Kolom Arah X .....	214
Gambar 4.33	Momen Kapasitas pada Kolom Arah X.....	214
Gambar 4.34	Diagram Interaksi Antara Gaya Aksial dan Momen Kolom Arah Y .....	215
Gambar 4.35	Momen Kapasitas pada Kolom Arah Y.....	215
Gambar 4.36	Tulangan Pengekangan Kolom .....	219
Gambar 4.37	Geser Desain Untuk Kolom .....	223
Gambar 4.38	Diagram Interaksi Antara Gaya Aksial dan Momen Kolom Arah X dengan Tegangan Leleh Baja Ditingkatkan 1,25fy .....	224
Gambar 4.39	Momen Kapasitas pada Kolom Arah X dengan Tegangan Leleh Baja Ditingkatkan 1,25fy.....	224
Gambar 4.40	Diagram Interaksi Antara Gaya Aksial dan Momen Kolom Arah Y dengan Tegangan Leleh Baja Ditingkatkan 1,25fy .....	225
Gambar 4.41	Momen Kapasitas pada Kolom Arah Y dengan Tegangan Leleh Baja Ditingkatkan 1,25fy.....	225
Gambar 4.42	Luas Joint Efektif .....	229
Gambar 4.43	Analisa Geser Pada HBK Arah Memanjang ...	231
Gambar 4.44	Analisa Geser Pada HBK Arah Melintang.....	234
Gambar 4.45	Desain Tulangan Vertikal Pada Dinding Geser .....	243



Gambar 4.46	Diagram Interaksi Antara Aksial dan Momen Pada Dinding Geser .....	243
Gambar 4.47	Momen Kapasitas Pada Dinding Geser .....	243
Gambar 4.48	Panjang Balok Pratekan .....	248
Gambar 4.49	Penampang Balok Pratekan.....	249
Gambar 4.50	Mekanika Teknik Balok Pratekan Sesaat Setelah Transfer.....	253
Gambar 4.51	Bidang Lintang (D) dan Momen (M) .....	255
Gambar 4.52	Momen Tumpuan Balok Pratekan Kombinasi 1D+1L.....	255
Gambar 4.53	Momen Lapangan Balok Pratekan Kombinasi 1D+1L.....	255
Gambar 4.54	Kehilangan Pratekan Akibat Kekangan Kolom .....	264
Gambar 4.55	Lendutan Balok Pratekan Saat Beban Layan Akibat Berat Sendiri.....	277
Gambar 4.56	Daerah Limit Kabel (Lins dan Burns,2000) ....	278
Gambar 4.57	Posisi Tendon.....	280
Gambar 4.58	Sambungan Antara Balok Pratekan Dengan Pelat .....	311
Gambar 4.59	Data Tanah Apartemen Lagoon Resort Bekasi	316
Gambar 4.60	Diagram Perhitungan dari Intensitas Daya Dukung Ultimate Tanah Pondasi Pada Ujung Tiang (Nakazawa,2000) .....	321
Gambar 4.61	Konfigurasi Tiang Pada AS 3-WX.....	325
Gambar 4.62	Mekanika Pile Cap Tampak Atas .....	333
Gambar 4.63	Mekanika Teknik Pile Cap .....	333
Gambar 4.64	Sloof Tipe 1 (S1).....	338
Gambar 4.65	Mekanika Teknik Sloof.....	339

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tebal Minimum Balok Non-Prategang Atau Pelat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung.....	8
Tabel 2.2	Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior.....	9
Tabel 2.3	Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa.....	13
Tabel 2.4	Faktor Keutamaan Gempa.....	16
Tabel 2.5	Klasifikasi Situs .....	17
Tabel 2.6	Koefisien Situs, $F_a$ .....	19
Tabel 2.7	Koefisien Situs, $F_v$ .....	19
Tabel 2.8	Nilai Parameter Perioda Pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	22
Tabel 2.9	Faktor Keamanan .....	68
Tabel 3.1	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek.....	73
Tabel 3.2	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 Detik .....	74
Tabel 4.1	Perencanaan Dimensi Balok Induk Memanjang.....	97
Tabel 4.2	Perencanaan Dimensi Balok Induk Melintang .....	98
Tabel 4.3	Perencanaan Dimensi Balok Anak .....	99
Tabel 4.4	Perencanaan Dimensi Balok Pratekan .....	99
Tabel 4.5	Perhitungan Distribusi Beban yang Disalurkan ke Kolom .....	101
Tabel 4.6	Pembebanan Pada Pelat.....	105
Tabel 4.7	Rekapitulasi Penulangan Pelat .....	110
Tabel 4.8	Rekapitulasi Penulangan Tangga .....	125
Tabel 4.9	Pemasangan Tulangan Lentur Balok Anak .....	131
Tabel 4.10	Pemasangan Tulangan Geser pada Balok Anak ...	137
Tabel 4.11	Rekapitulasi Penulangan Balok Anak .....	137
Tabel 4.12	Data Spesifikasi pada Brosur Iris Lift .....	139
Tabel 4.13	Pemasangan Tulangan Lentur Balok Lift .....	144
Tabel 4.14	Pemasangan Tulangan Geser pada Balok Lift.....	147
Tabel 4.15	Rekapitulasi Penulangan Balok Lift.....	147

Tabel 4.16	Pemasangan Tulangan Lentur Balok Bordes.....	151
Tabel 4.17	Pemasangan Tulangan Geser pada Balok Bordes.....	154
Tabel 4.18	Rekapitulasi Penulangan Balok Bordes.....	154
Tabel 4.19	Berat Total Beban Gravitasi .....	155
Tabel 4.20	Nilai Tekanan Eksternal $C_p$ dan Tekanan Velositas $q_z$ .....	160
Tabel 4.21	Perbandingan Tebal lapisan dengan Nilai SPT Rata-rata Tiap Lapisan.....	161
Tabel 4.22	Hubungan Antara Periode dengan Spektrum Respons Percepatan Desain .....	164
Tabel 4.23	Penentuan KDS Berdasarkan $SDS$ .....	168
Tabel 4.24	Penentuan KDS Berdasarkan $SD1$ .....	168
Tabel 4.25	Faktor $R$ , $C_d$ , $\Omega_a$ Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa.....	169
Tabel 4.26	Gaya Geser Dasar Ragam ( $V_t$ ).....	174
Tabel 4.27	Gaya Geser Dasar Ragam ( $V_t$ ) Setelah Dikalikan Faktor Skala .....	175
Tabel 4.28	Prosentase Antara Dinding Geser dan Rangka dalam Memikul Beban Gempa .....	175
Tabel 4.29	Simpangan Ijin Antar Lantai Untuk Beberapa Macam Sistem Struktur .....	176
Tabel 4.30	Simpangan Ijin Antar Kantai.....	177
Tabel 4.31	Kontrol Simpangan Antar Lantai Terhadap Gempa Arah X .....	178
Tabel 4.32	Kontrol Simpangan Antar Lantai Terhadap Gempa Arah Y .....	179
Tabel 4.33	Partisipasi Massa dalam Arah X dan Arah Y .....	181
Tabel 4.34	Penulangan Balok Induk Melintang 1 (BIL1) .....	211
Tabel 4.35	Rekapitulasi Penulangan Balok Induk.....	212
Tabel 4.36	Penulangan Kolom Tipe 1 (K1) .....	228
Tabel 4.37	Rekapitulasi Penulangan Kolom .....	228
Tabel 4.38	Gaya-gaya Dalam Pada Dinding Geser .....	237
Tabel 4.39	Rekapitulasi Penulangan Dinding Geser .....	247
Tabel 4.40	Strand VSL diameter 13mm.....	258
Tabel 4.41	Spesifikasi Tendon VSL .....	260

Tabel 4.42	Kehilangan Gaya Pratekan .....	269
Tabel 4.43	Letak Posisi Tendon.....	280
Tabel 4.44	Rekapitulasi Penulangan Balok Pratekan .....	315
Tabel 4.45	Intensitas Gaya Geser Dinding Tiang, $f$ .....	318
Tabel 4.46	Nilai $U x lifi$ Sampai Kedalaman 30 meter .....	318
Tabel 4.47	Gaya Yang Terjadi Pada Pile Cap AS 3-WX (Beban Tetap).....	324
Tabel 4.48	Gaya Yang Terjadi Pada Pile Cap AS 3-WX (Beban Sementara) .....	324
Tabel 4.49	Perhitungan Beban Vertikal Ekvale (Beban Tetap) .....	325
Tabel 4.50	Perhitungan Beban Vertikal Ekvale (Beban Sementara) .....	327
Tabel 4.51	Rekapitulasi Penulangan Pilecap.....	337
Tabel 4.52	Pemasangan Tulangan Lentur pada Sloof .....	342
Tabel 4.53	Penulangan Geser pada Sloof.....	343

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Semakin bertambahnya jumlah penduduk dari tahun ke tahun, akan menyebabkan kebutuhan tempat tinggal semakin meningkat. Meningkatnya kebutuhan tempat tinggal dapat mengurangi persediaan lahan kosong. Sehingga hunian maupun kebutuhan ruangan dibangun secara vertikal untuk memenuhi kebutuhan tempat tinggal maupun kebutuhan ruangan tanpa mengurangi lahan di sekitarnya. Hotel, apartemen, maupun rumah susun merupakan tempat tinggal tetap atau sementara yang dibangun ada yang mengarah ke arah vertikal dibandingkan ke arah horizontal. Hal tersebut bertujuan supaya dapat menampung banyak orang tanpa mengurangi lahan di sekitarnya. Gedung yang dibangun ke arah vertikal secara otomatis bangunan tersebut relatif tinggi dan penghuni di dalamnya juga relatif banyak. Sehingga perlu diperhatikan tingkat keamanan pada bangunan tersebut. Misalnya kondisi tanah di bawah bangunan tersebut maupun zona gempa yang terdapat pada lokasi tersebut. Oleh karena itu, pembangunan suatu gedung harus direncanakan selain untuk memenuhi kebutuhan penghuninya, juga harus diperhatikan tingkat keamanan pada bangunan tersebut.

Perencanaan bangunan gedung di Indonesia harus mengacu pada peraturan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) supaya dapat memenuhi tingkat keamanan, kelayakan, dan kenyamanan pada gedung. Salah satu hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan bangunan gedung adalah perencanaan gedung tahan gempa. Mengingat wilayah Indonesia termasuk ke dalam kawasan *ring of fire* dimana sering terjadi pergerakan lempeng yang mengakibatkan gempa. Oleh karena itu, dalam suatu perencanaan struktur bangunan perlu dipertimbangkan adanya gempa berdasarkan zona gempa pada lokasi bangunan tersebut.

Perencanaan gedung pada tugas akhir ini akan mengambil objek pada Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A yang

terletak di Jalan Cut Meutia Bekasi. Gedung tersebut memiliki 19 lantai. Gedung Apartemen Lagoon Resort Bekasi membutuhkan ruang pertemuan yang digunakan sebagai tempat pertemuan dan tempat persewaan untuk acara-acara tertentu. Oleh karena itu, Apartemen Lagoon Resort Tower A akan dimodifikasi dengan menambahkan 1 lantai lagi untuk ruang pertemuan sehingga akan menjadi 20 lantai. Ruang pertemuan akan diletakkan di lantai 17. Ruangan tersebut didesain agar terbebas dari kolom-kolom. Sehingga struktur balok yang digunakan menggunakan balok pratekan.

Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A Bekasi pada awalnya direncanakan dengan menggunakan struktur beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen biasa. Pada tugas akhir ini, perencanaan Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A akan direncanakan ulang supaya mampu menahan gaya gempa berdasarkan kategori desain seismik yang telah ditentukan. Struktur gedung yang direncanakan untuk memikul gaya gempa harus berdasarkan pada lokasi gedung tersebut dan kategori resiko pada gedung tersebut. Sistem perencanaan gedung penahan gaya gempa terdapat beberapa macam. Pada tugas akhir ini, perencanaan Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A menggunakan sistem ganda. Sistem ganda merupakan sistem penahan gaya gempa dimana beban gravitasi sepenuhnya dipikul oleh rangka utama sedangkan beban lateral dipikul bersama oleh rangka utama dan dinding geser. Berdasarkan kategori desain seismik pada Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A Bekasi, perencanaan menggunakan Sistem Ganda dibagi menjadi Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Struktur Beton Khusus (DSBK). Rangka pemikul momen harus mampu menahan 25 persen gaya gempa desain.

Dari latar belakang di atas, dapat disimpulkan judul yang tepat untuk tugas akhir ini adalah “Modifikasi Struktur Gedung Lagoon Resort Tower A Bekasi dengan Menggunakan Sistem Ganda dan Balok Pratekan pada Lantai 18”.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah bagaimana memodifikasi bangunan Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A Bekasi menggunakan Sistem Ganda dan Balok Pratekan. Sedangkan detail permasalahan yang ditinjau adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan preliminary desain yang meliputi struktur sekunder, struktur primer non-pratekan, dan struktur primer pratekan
2. Bagaimana merencanakan struktur sekunder pada Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A yang meliputi pelat lantai, balok anak, tangga, balok bordes, dan balok lift
3. Bagaimana merencanakan pembebanan pada struktur Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A Bekasi yang meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa
4. Bagaimana memodelkan struktur dan menganalisis Struktur Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A Bekasi terhadap kontrol nilai gaya geser dasar, waktu getar alami fundamental, partisipasi massa, simpangan, dan sistem ganda
5. Bagaimana merencanakan struktur utama non pratekan pada Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A yang meliputi balok induk, kolom, dan dinding geser
6. Bagaimana merencanakan struktur utama pratekan pada Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A yang meliputi balok pratekan pada lantai 18
7. Bagaimana merencanakan pondasi pada Gedung Apartemen Lagoon Resort
8. Bagaimana mengaplikasikan perhitungan struktur dalam bentuk gambar teknik.

## 1.3 Tujuan

Tujuan tugas akhir ini adalah memodifikasi bangunan gedung Lagoon Resort Apartmen Tower A Bekasi menggunakan Sistem Ganda dan Balok Pratekan. Sedangkan detail tujuan dari permasalahan yang ditinjau adalah sebagai berikut:



1. Merencanakan preliminary desain yang meliputi struktur sekunder, struktur primer non-pratekan dan struktur primer pratekan
2. Merencanakan struktur sekunder pada Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A yang meliputi pelat lantai, balok anak, tangga, dan balok lift
3. Merencanakan pembebanan pada struktur Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A Bekasi yang meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa
4. Memodelkan struktur dan menganalisis struktur Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A Bekasi terhadap kontrol nilai gaya geser dasar, waktu getar alami fundamental, partisipasi massa, simpangan, dan sistem ganda
5. Merencanakan struktur utama non pratekan pada Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A yang meliputi balok induk, kolom, dan dinding geser
6. Merencanakan struktur utama pratekan pada Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A yang meliputi balok pratekan pada lantai 18
7. Merencanakan pondasi pada Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A
8. Mengaplikasikan perhitungan struktur dalam bentuk gambar teknik.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Pada penulisan tugas akhir ini diberikan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Tidak merencanakan utilitas bangunan, sanitasi, plumbing, mechanical, instalasi listrik, dan finishing
2. Tidak menjelaskan metode pelaksanaan pembangunan kecuali terkait dengan metode pelaksanaan beton pratekan
3. Tidak menghitung anggaran biaya

### 1.5 **Manfaat**

Manfaat dari pembuatan laporan tugas akhir ini yaitu untuk menerapkan perencanaan struktur Gedung Apartemen Lagoon Tower A Bekasi menggunakan Sistem Ganda dan Balok Pratekan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam menyelesaikan perencanaan struktur beton bertulang harus dapat memenuhi kriteria kekuatan dan kelayakan yang dibutuhkan oleh sebuah gedung. Oleh karena itu, pada bab ini akan dijelaskan secara garis besar mengenai teori dan syarat-syarat perencanaan.

#### **2.1 Umum**

Perencanaan modifikasi Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A ini menggunakan Sistem Ganda dan terletak di wilayah Bekasi. Perencanaan sistem ganda yang merupakan gabungan dari sistem rangka pemikul momen dan dinding geser ini didasarkan pada SNI 2847:2013 mengenai persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Gedung ini memiliki 19 lantai dan dimodifikasi dengan menambahkan 1 lantai pada lantai 17 dengan fungsi ruang pertemuan. Ruangan tersebut direncanakan tanpa adanya kolom-kolom di tengah sehingga digunakan balok pratekan.

Untuk mendesain struktur bangunan tahan gempa, bangunan harus didesain agar mampu menahan beban gempa 2500 tahunan sesuai SNI 1726-2012. Dalam prosedur perencanaan SNI gempa, struktur bangunan tahan gempa pada prinsipnya boleh direncanakan terhadap beban gempa yang direduksi dengan faktor modifikasi respons struktur. Dengan penerapan konsep ini, pada saat gempa terjadi, elemen-elemen struktur bangunan tertentu yang dipilih diperbolehkan mengalami plastifikasi (kerusakan) sebagai sarana untuk pendisipasian energi gempa yang diterima struktur. Elemen-elemen tertentu tersebut pada umumnya adalah elemen-elemen struktur yang perilaku plastifikasinya bersifat daktail dan tidak mudah runtuh. Elemen-elemen struktur lain yang tidak diharapkan mengalami plastifikasi harus tetap berperilaku elastis selama gempa terjadi (Imran dan Hendrik, 2014).

## 2.2 Syarat Perencanaan Dimensi Penampang

### 2.2.1 Tebal Minimum Pelat

Dalam menghitung pelat, dibagi menjadi 2 jenis, yaitu pelat satu arah dan pelat 2 arah.

#### 2.2.1.1 Pelat satu arah

Pelat satu arah memiliki persyaratan dalam menentukan tebal minimum seperti yang dijelaskan pada poin-poin berikut:

- 1) Suatu pelat dinamakan pelat satu arah apabila bentang panjang dibagi bentang pendek lebih dari 2
- 2) Pelat satu arah atau disebut konstruksi satu arah non-prategang diatur pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.2
- 3) Penentuan tebal minimum untuk pelat satu arah dengan lendutan tidak dihitung telah diatur pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Tebal Minimum Balok Non-Prategang Atau Pelat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Dua tumpuan sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	kantilever
	Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat massif satu arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat rusuk satu arah	1/16	1/18.5	1/21	1/8
<u>Catatan :</u> Panjang bentang dalam mm Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk				

komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagai berikut :

- (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*),  $w_c$  , diantara  $1440 \text{ kg/m}^3$  sampai  $1840 \text{ kg/m}^3$ , nilai tadi harus dikalikan dengan  $(1.65 - 0.0003W_c)$  tetapi tidak kurang dari 1.09
- (b) Untuk  $f_y$  selain 400 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan  $(0.4 + f_y/700)$ .

- 4) Bila lendutan harus dihitung maka lendutan yang terjadi seketika sesudah bekerjanya beban harus dihitung dengan metoda atau formula standar untuk lendutan elastis, dengan memperhitungkan pengaruh retak dan tulangan terhadap kekakuan komponen struktur. Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.2

#### 2.2.1.2 Pelat dua arah

Pelat dua arah memiliki persyaratan dalam menentukan tebal minimum seperti yang dijelaskan pada poin-poin berikut:

- 1) Suatu pelat dinamakan pelat dua arah apabila bentang panjang dibagi bentang pendek kurang dari 2
- 2) Pelat dua arah atau konstruksi dua arah non-prategang diatur pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.3
- 3) Tebal minimum tanpa balok interior yang membentang diantara tumpuan semua sisinya harus memenuhi ketentuan pada Tabel 2.2 tetapi tidak boleh kurang dari :
  - a) Tanpa panel drop yaitu 125 mm (SNI 2847:2013 pasal 13.2.5)
  - b) Dengan panel drop yaitu 100 mm (SNI 2847:2013 pasal 13.2.5)

Tabel 2.2 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior

Tegangan leleh, $f_y$ Mpa	Tanpa penebalan		Dengan penebalan	
	Panel eksterior	Panel interior	Panel eksterior	Panel interior

	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir	
280	Ln/33	Ln/36	Ln/36	Ln/36	Ln/40	Ln/40
420	Ln/30	Ln/33	Ln/33	Ln/33	Ln/36	Ln/36
520	Ln/33	Ln/28	Ln/31	Ln/31	Ln/34	Ln/34

Untuk konstruksi dua arah,  $l_n$  adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain. Untuk  $f_y$  antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.

\*panel drop didefinisikan dalam SNI 2847-2013 pasal 13.2.5

\*pelat dengan balok diantara kolom kolomnya disepanjang tepi eksterior.

Nilai untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0.8

- 4) Tebal pelat minimum dengan balok yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya,  $h$ , harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- Untuk  $\alpha_{fm} \leq 0.2$  harus menggunakan 2.2.1.2 poin 1) atau sesuai dengan yang diatur dalam Tabel 2.2
- Untuk  $\alpha_{fm} \geq 0.2 \leq 2$ , ketebalan pelat minimum harus tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln \left( 0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0.2)} \quad (2.1)$$

Dan juga tidak boleh kurang dari 125 mm

- Untuk  $\alpha_m > 2$ , ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{\ln \left( 0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta} \quad (2.2)$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm

- Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan  $\alpha_f$  tidak kurang dari 0.8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan persamaan 2.1 dan 2.2 harus dinaikkan paling tidak 10%

pada panel dengan tepi yang tidak menerus sesuai SNI 2847:2013.

- Pelat dengan tebal kurang dari tebal minimum yang ditetapkan, boleh dipergunakan bila dapat ditunjukkan dengan perhitungan bahwa lendutan yang terjadi tidak melebihi batas lendutan pada Tabel 2.2.

### 2.2.2 Dimensi Balok Non-Pratekan

SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 tabel 9.5(a) mengatur tentang ketebalan minimum balok jika lendutan tidak dihitung, yang dijelaskan seperti berikut:

- Untuk balok induk:

$$h_{min} = \frac{1}{16} \times L \quad (2.3)$$

- Untuk balok anak :

$$h_{min} = \frac{1}{21} \times L \quad (2.4)$$

untuk  $f_y$  selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan  $(0,4 + \frac{f_y}{700})$

Sedangkan, lebar balok:

$$b_w = \frac{2}{3} \times h_{min} \quad (2.5)$$

SNI 2847:2013 pasal 21.5.1.3 mengatur tentang lebar balok ( $b_w$ ) tidak boleh kurang dari nilai terkecil dari  $0,3 h_{min}$  dan 250 mm.

### 2.2.3 Dimensi Balok Pratekan

Dalam merencanakan dimensi balok pratekan, dapat digunakan rumus untuk tinggi minimum balok dan lebar balok seperti berikut ini (Nawy, 2001):

- Tinggi balok pratekan:

$$h_{min} = \frac{1}{20} \times L \quad (2.6)$$

- Lebar balok pratekan:

$$b = \frac{2}{3} \times h \quad (2.7)$$



### 2.2.4 Dimensi Kolom

Penentuan dimensi kolom dapat diambil dengan perhitungan sebagai berikut:

$$A = \frac{W}{0,35 \times f_c'} \quad (2.8)$$

Dimana,

W = beban aksial yang diterima kolom = 1,2D + 1,6L

$f_c'$  = kuat tekan beton karakteristik

A = Luas penampang kolom

### 2.2.5 Tebal Dinding Geser

SNI 2847:2013 mengenai dinding sebagai beton polos struktur pada pasal 22.6.6.2 menyebutkan bahwa tebal dinding selain dinding basemen luar dan dinding pondasi, tebal dinding penumpu tidak boleh kurang dari 1/24 tinggi atau panjang tak tertumpu, yang mana yang lebih pendek atau tidak boleh kurang dari 140 mm

- Tebal rencana dinding  $\geq \frac{H}{24}$ , H: Tinggi total dinding
- Tebal rencana dinding  $\geq \frac{L}{24}$ , L: Panjang bentang dinding
- Tebal rencana dinding  $\geq 140$  mm

Setelah memperoleh analisa gaya dalam menggunakan program SAP dilakukan kontrol desain. Pada bagian ini akan dibahas kontrol desain pada beton bertulang biasa menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Selain itu juga dilakukan penulangan struktur utama sesuai dengan aturan yang ada di SNI 2847:2013.

## 2.3 Pembebanan dan Kombinasi Beban

Beban-beban yang dimasukkan pada perencanaan struktur gedung antara lain (PPIUG 1983):

### 2.3.1 Beban mati

Beban mati yang dimaksud adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur

tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan yang merupakan bagian yang tak terpisahkan.

### 2.3.2 Beban hidup

Beban hidup yang dimaksud adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu.

### 2.3.3 Beban Angin

Beban angin yang dimaksud adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

### 2.3.4 Beban Gempa

Beban gempa yang dimaksud adalah beban yang ditimbulkan akibat adanya gempa yang sewaktu-waktu datang. Beban gempa yang dimasukkan adalah beban gempa respons dinamik.

#### 2.3.4.1 Kategori Resiko Bangunan

Suatu gedung memiliki kategori resiko bangunan yang sudah ditetapkan pada SNI 1726-2012 seperti pada Tabel 2.3:

Tabel 2.3 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> </ul>	I

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan misal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul>	III

<p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi</li> <li>- kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau</li> </ul>	IV

struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	
---	--

#### 2.3.4.2 Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726-2012 dapat dilihat setelah mendapatkan kategori resiko bangunan

Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

#### 2.3.4.3 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek,  $S_{DS}$  dan pada perioda 1 detik,  $S_{D1}$ , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.9)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.10)$$

dimana nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$  dihitung berdasarkan SNI 1726-2012 seperti pada persamaan berikut

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.11)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2.12)$$

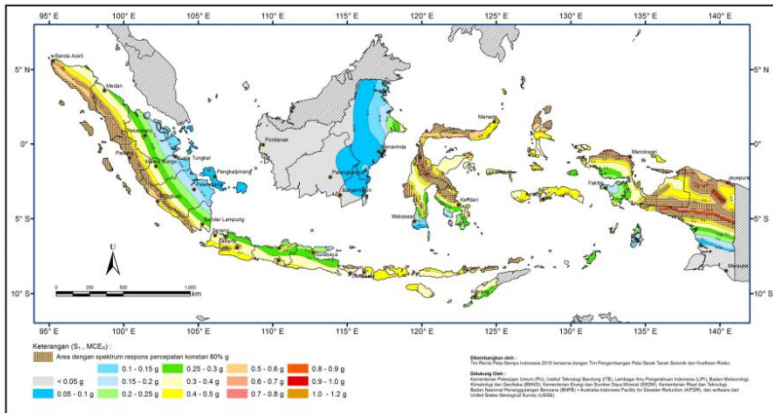
Parameters  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus

ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada SNI 1726-2012 pasal 14 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun ( $MCE_R$ , 2 persen dalam 50 tahun). Sedangkan nilai  $F_a$  dan  $F_v$  dapat dilihat pada SNI 1726-2012 setelah mengetahui parameter  $S_s$ ,  $S_1$ , dan kelas situs. Kelas situs ditentukan berdasarkan nilai  $\bar{N}$  SPT yang sudah ditentukan dari data tanah.

Tabel 2. 5 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math></li> <li>2. Kadar air, <math>w \geq 40\%</math></li> <li>3. Kuat geser niralinir <math>\bar{s}_u &lt; 25</math> kPa</li> </ol>		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>- Lempung sangat organik dan/atau</li> </ul>		





Gambar 2.2 S1, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER)

Tabel 2.6 Koefisien Situs, Fa

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE <sub>R</sub> ) terpetakan pada perioda pendek, T = 0,2 detik, S <sub>s</sub>				
	S <sub>s</sub> ≤ 0,25	S <sub>s</sub> = 0,5	S <sub>s</sub> = 0,75	S <sub>s</sub> = 1,0	S <sub>s</sub> ≥ 1,25
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS <sup>b</sup>				

Catatan:

- Untuk nilai-nilai antara  $S_s$ , dapat dilakukan interpolasi linear
- $SS$  = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 2.7 Koefisien Situs, Fv

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE <sub>R</sub> ) terpetakan pada perioda pendek, T = 1 detik, S <sub>1</sub>				
	S <sub>1</sub> ≤ 0,1	S <sub>1</sub> = 0,2	S <sub>1</sub> = 0,3	S <sub>1</sub> = 0,4	S <sub>1</sub> ≥ 0,5



SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS <sup>b</sup>				

Catatan:

- Untuk nilai-nilai antara  $S_1$ , dapat dilakukan interpolasi linear
- SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

#### 2.3.4.4 Spektrum Respons Desain

Spektrum respons desain pada tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengikuti ketentuan berikut (SNI 1726-2012; Peta Hazard Gempa Indonesia 2010).

- Untuk perioda lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.13)$$

- Untuk perioda lebih besar atau sama dengan  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil sama dengan  $S_{DS}$ :

- Untuk perioda lebih besar atau dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.14)$$

Keterangan:

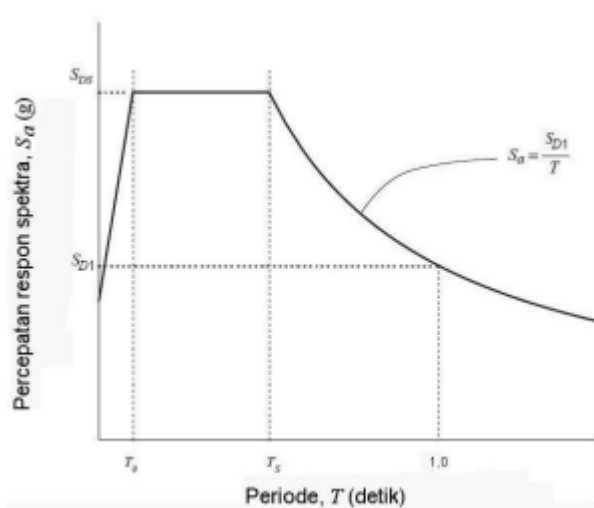
$S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek

$S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik

$T$  = perioda getar fundamental struktur

$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$



Gambar 2.3 Spektrum Respons Desain

#### 2.3.4.5 Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismik,  $V$ , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut

$$V = C_s W \quad (2.15)$$

dimana  $W$  merupakan berat struktur bangunan, dan nilai  $C_s$  dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.16)$$

nilai  $C_s$  tidak boleh melebihi

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.17)$$

dan tidak boleh kurang dari

$$C_s = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \quad (2.18)$$

nilai  $R$  merupakan faktor modifikasi respons yang dapat dilihat pada SNI 1726-2012 tabel 9 sesuai dengan sistem struktur yang ditentukan

#### 2.3.4.6 Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur,  $T$ , dapat dihitung dengan menggunakan periode fundamental pendekatan,  $T_a$ , yang dapat ditulis dari persamaan berikut

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.19)$$

Dimana  $h_n$  merupakan tinggi bangunan. Nilai  $C_t$  dan  $x$  dapat dilihat pada Tabel 2.8 sebagai berikut:

Tabel 2.8 Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

#### 2.3.4.7 Simpangan Antar Lantai

Defleksi pusat massa di tingkat  $x$ ,  $\delta_x$  (mm), harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.20)$$

Keterangan:

$C_d$  = faktor amplifikasi defleksi

$\delta_{xe}$  = defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada SNI 1726-2012 pasal 7.8.6 yang ditentukan dengan analisis elastik

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

### 2.3.5 Kombinasi Pembebanan

Untuk mendapatkan gaya-gaya dalam, diperlukan beban-beban yang dapat membebani struktur bangunan. Beban-beban yang ada harus dikombinasikan untuk mendapatkan kekuatan perlu (U). berikut ini adalah kekuatan perlu pengaruh dari beban terfaktor (SNI 2847-2013 pasal 9.2.1):

$$U = 1,4D \quad (2.21)$$

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \quad (2.22)$$

$$U = 1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W) \quad (2.23)$$

$$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \quad (2.24)$$

$$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L \quad (2.25)$$

$$U = 0,9D + 1,0W \quad (2.26)$$

$$U = 0,9D + 1,0E \quad (2.27)$$

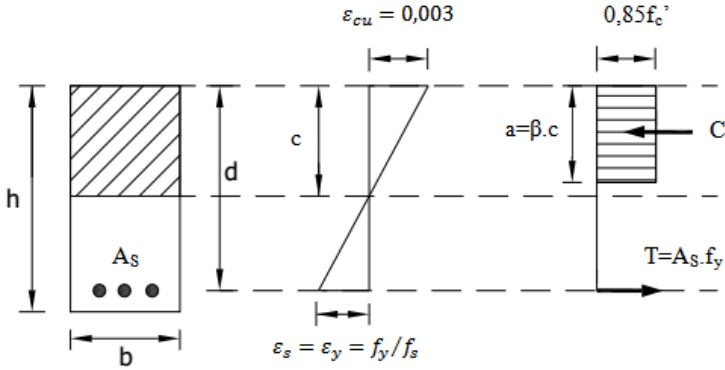
## 2.4 Penulangan Pada Beton Bertulang

### 2.4.1 Penulangan Lentur

Beton yang menerima momen, harus ditulangi penulangan lentur, dan harus memenuhi:

$$\phi M_n \geq M_u \quad (2.28)$$

dimana perhitungan  $M_n$  pada tugas akhir ini menggunakan metode tulangan tunggal, dengan menganggap tulangan tekan tidak ada, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Lentur Tulangan Tunggal

dengan menggunakan teori kesetimbangan  $C = T$ , dapat dihitung  $M_n$  menggunakan persamaan berikut ini (Wang dan Salmon, 1990):

$$M_n = C \left( d - \frac{a}{2} \right) \text{ atau } M_n = T \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.29)$$

dimana nilai  $a$  dapat diperoleh dari persamaan:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \quad (2.30)$$

dengan mengolah persamaan (2.29) dengan memasukkan nilai  $T = \rho \cdot b \cdot d$ , didapatkan nilai rasio tulangan:

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \quad (2.31)$$

dengan syarat menurut SNI 2837-2013 nilai  $\rho$  tidak boleh kurang dari  $\rho_{min}$ , dimana nilai  $\rho_{min}$  adalah

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.32)$$

### 2.4.2 Penulangan Geser

Beton yang menerima gaya geser, harus ditulangi menggunakan tulangan segeser dan harus memenuhi

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.33)$$

dimana  $V_n$  merupakan geser nominal yang dapat dihitung dengan cara berikut ini

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.34)$$

dimana  $V_c$  adalah kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton, sedangkan  $V_s$  adalah kekuatan geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser. Nilai  $V_c$  untuk balok non pratekan yang dikenani beban geser dan lentur dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c'}b_wd \quad (2.35)$$

Sedangkan nilai  $V_c$  untuk kolom yang dikenai beban aksial dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_c = 0,17\left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right)\lambda\sqrt{f_c'}b_wd \quad (2.36)$$

nilai  $\frac{N_u}{14}$  harus dinyatakan dalam MPa.

Besarnya nilai  $V_s$  dihitung berdasarkan kebutuhan tulangan geser yang akan dipasang. Komponen struktur membutuhkan tulangan geser minimum apabila nilai  $V_u < \phi V_c$ , luas tulangan geser dapat dihitung dengan persamaan:

$$A_{v,min} = 0,062\sqrt{f_c'}\frac{b_ws}{f_{yt}} \quad (2.37)$$

dan tidak boleh kurang dari  $0,35b_ws/f_y$ . Sedangkan komponen struktur yang membutuhkan tulangan geser dengan nilai  $V_u > \phi V_c$ , kebutuhan tulangan geser dapat dihitung dengan persamaan:

$$A_v = \frac{V_{s.s}}{f_y \cdot d} \quad (2.38)$$

dimana spasi tulangan geser,  $s$ , tidak boleh melebihi  $d/2$  untuk komponen non prategang atau 600mm.

### 2.4.3 Penulangan Torsi

Beban torsi dapat dipisahkan atas 2 kategori, yaitu torsi keseimbangan dan torsi kompatibilitas. Torsi keseimbangan merupakan torsi dimana momen torsi dibutuhkan untuk keseimbangan struktur. Sedangkan torsi kompatibilitas merupakan torsi dimana momen torsi timbul karena kompatibilitas deformasi antara elemen-elemen struktur yang bertemu pada sambungan/join (Imran dan Zulkifli, 2014).

Komponen struktur non ptategang harus memperhitungkan pengaruh torsi apabila memnuhi persamaan berikut ini:

$$T_u > \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (2.39)$$

apabila komponen struktur membutuhkan tulangan torsi, maka harus memenuhi persamaan berikut ini

$$\phi T_n \geq T_u \quad (2.40)$$

dari persamaan di atas, dapat dihitung nilai  $A_t$  menggunakan rumus berikut

$$A_t = \frac{T_u \cdot s}{\phi \cdot 1,7 \cdot A_{oh} \cdot f_{yv} \cot \theta} \quad (2.41)$$

besarnya nilai  $A_t$  disumbangkan ke lentur dan geser pada komponen struktur yang memikul momen dan geser. Untuk perhitungan torsi pada komponen struktur lentur yang memikul momen,  $A_l$ , dapat dihitung dengan cara

$$A_l = \frac{A_t}{s} p_h \left( \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta \quad (2.42)$$

nilai  $A_l$  dibagi ke empat sisi balok sehingga  $A_l$  yang diperlukan adalah  $1/4 A_l$ . Sedangkan untuk perhitungan torsi pada komponen struktur geser dapat dihitung sebesar

$$A_v + 2A_t \quad (2.43)$$

#### 2.4.4 Penulangan Aksial

Luas tulangan longitudinal,  $A_{st}$ , untuk komponen struktur tekan non komposit tidak boleh kurang dari  $0,01A_g$  atau lebih dari  $0,08A_g$ . Untuk komponen struktur non prategang dengan tulangan pengikat, desain beban aksial dapat dihitung dengan

$$\phi P_{n(max)} = 0,85\phi[0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (2.44)$$

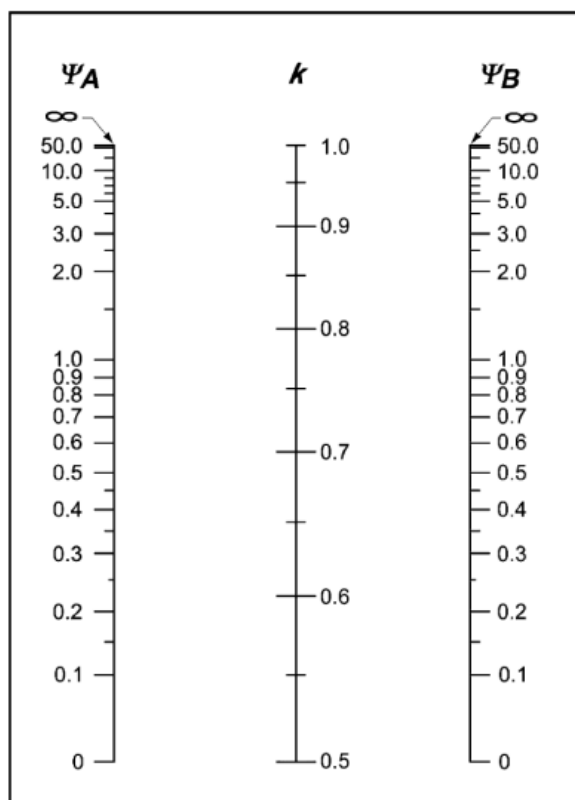
##### 2.4.4.1 Pengaruh Kelangsingan

Pengaruh kelangsingan pada perhitungan kolom, perlu ditetapkan apakah termasuk ke dalam kolom pendek atau kolom langsing, perhitungan kelngsingan tanpa bracing dapat dihitung dengan

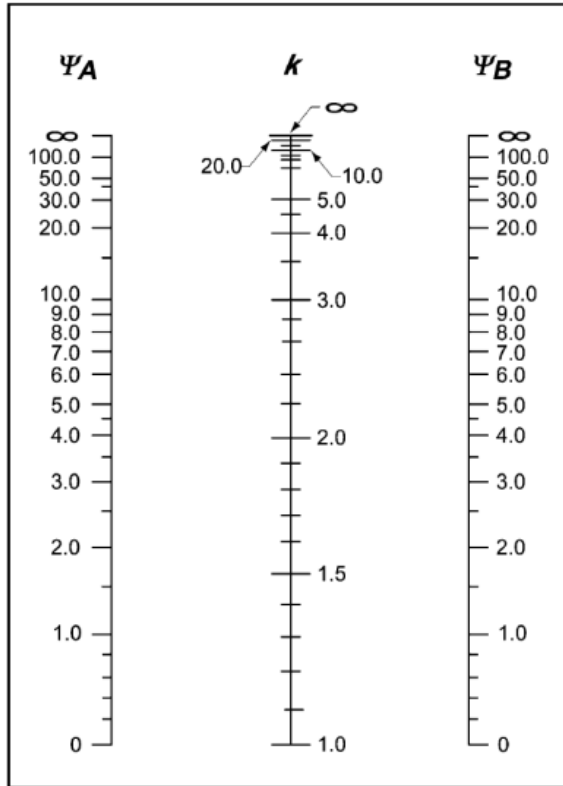
$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 22 \quad (2.45)$$

dimana nilai  $k$  ditentukan pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6 sebagai berikut:





Gambar 2.5 Nilai  $k$  Rangka Tak Bergoyang



Gambar 2.6 Nilai k Rangka Bergoyang

#### 2.4.4.2 Prosedur Pembesaran Momen Portal Tak Bergoyang

Komponen struktur tekan harus didesain untuk gaya aksial terfaktor,  $P_u$ , dan momen terfaktor yang diperbesar untuk pengaruh kurvatur komponen  $M_c$  dimana

$$M_c = \delta_{ns} M_2 \quad (2.46)$$

dimana

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0.75 P_c}} \geq 1 \quad (2.47)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k.l_u)^2} \quad (2.48)$$

EI boleh diambil sebesar

$$EI = \frac{(0,2.E_c.I_g + E_s.I_{se})}{1 + \beta_{dns}} \quad (2.49)$$

atau

$$EI = \frac{0,4E_c I_g}{1 + \beta_{dns}} \quad (2.50)$$

#### 2.4.4.3 Prosedur Pembesaran Momen Portal bergoyang

Momen  $M_1$  dan  $M_2$  di ujung komponen struktur individu harus diambil sebesar

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \quad (2.51)$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \quad (2.52)$$

dimana  $\delta_s$  dihitung sebesar

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1 \quad (2.53)$$

## 2.5 Sistem Ganda (Dual System)

Sistem Ganda atau *Dual System* adalah salah satu sistem struktur yang beban gravitasinya dipikul sepenuhnya oleh rangka (*space frame*), sedangkan beban lateralnya dipikul bersama oleh rangka dan dinding geser (*shear wall*). Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.2.5.1 menyebutkan bahwa, untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa desain. Tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya. Karena dinding geser dan rangka dalam sistem ganda merupakan satu kesatuan struktur, maka diharapkan keduanya dapat mengalami defleksi lateral yang sama atau setidaknya rangka mampu mengikuti defleksi lateral yang terjadi.

Dinding geser sendiri merupakan struktur yang terbuat dari beton bertulang dimana tulangan-tulangan tersebut yang akan menerima gaya lateral akibat gempa sebesar beban yang telah direncanakan. Sistem Ganda pada dasarnya terdiri dari:

1. Rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi.
2. Pemikul beban lateral berupa dinding geser dan rangka pemikul momen sedikitnya 25 persen.
3. Kedua sistem harus direncanakan untuk memikul bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi antara sistem rangka pemikul momen dengan dinding geser.

Untuk daerah dengan resiko gempa tinggi, rangka utama dan dinding geser harus didesain sebagai Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Struktur Beton Khusus (DSBK), (Purwono, 2005). Menurut SNI-1726 2012 pasal 3.53, menyebutkan bahwa SRPMK merupakan sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Selanjutnya Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus untuk beton yang dicor di tempat diatur dalam SNI 2847-2013 pasal 21.5 hingga pasal 21.7. Sedangkan Dinding Struktur Beton Khusus diatur dalam SNI 2847-2013 pasal 21.9.

### **2.5.1 Pesyaratan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)**

Sistem rangka pemikul momen adalah struktur bangunan beton bertulang bertingkat, umumnya terdiri dari rangka balok yang memikul lantai dan kolom yang menerus ke atas, balok dan kolom disatukan oleh hubungan balok kolom (Purwono dan Aji, 2014). Perencanaan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk beton yang dicor di tempat (*cast in situ*) harus memenuhi persyaratan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5 hingga 21.7. untuk lebih detailnya akan dijelaskan pada sub bab 2.5.1.1 sampai 2.5.2.3.

### 2.5.1.1 Komponen Struktur Lentur Rangka Momen Khusus

Komponen-komponen struktur yang harus dipenuhi dalam Sistem rangka Pemikul Momen Khusus untuk komponen struktur lentur adalah persyaratan tulangan longitudinal, tulangan transversal, dan persyaratan kekuatan geser

#### 1. Tulangan Longitudinal

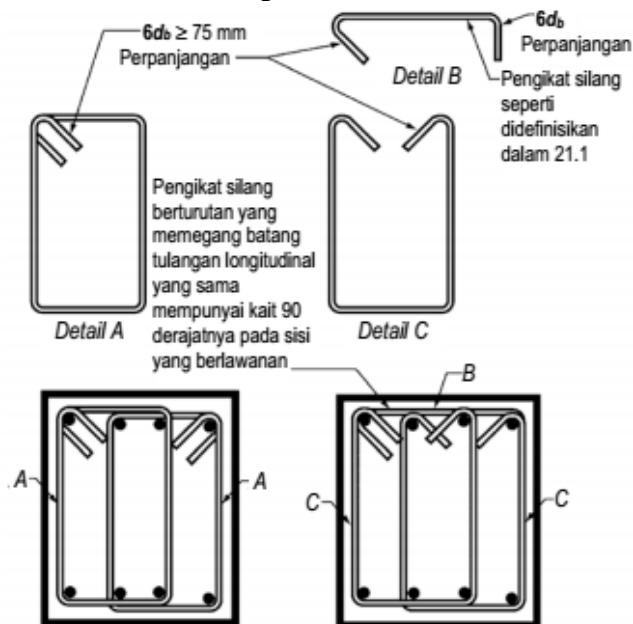
- a) Pada sebarang penampang dalam struktur lentur, untuk tulangan atas dan bawah, tidak boleh kurang dari  $1,4 b_w d / f_y$  dan rasio tulangan,  $\rho$  tidak boleh melebihi 0,025. Paling sedikit 2 batang menerus pada kedua sisi atas dan bawah.
- b) Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan di muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu dari joint tersebut.
- c) Sambungan lewatan tulangan lentur diizinkan jika tulangan sengkang disediakan sepanjang panjang sambungan. Spasi tulangan transversal tidak boleh lebih kecil dari  $d/4$  atau 100 mm. sambungan lewatan tidak boleh digunakan dalam joint, jarak dua kali tinggi komponen struktur dari muka joint.
- d) Pada beton pratekan, harus memenuhi poin-poin berikut
  - $f_{pc} \leq$  yang terkecil antara 3,5 MPa dan  $f_c' / 10$
  - Baja prategang harus tanpa lekatan pada daerah sendi plastis potensial, dan regangan yang dihitung pada baja prategang akibat perpindahan desain harus kurang dari 1 persen.
  - Baja prategang tidak boleh menyumbang lebih dari seperempat kekuatan lentur positif atau negatif di penampang kritis pada daerah sendi plastis dan harus diangkur pada atau melewati muka eksterior joint.
  - Pengankuran tendon pasca tarik yang menahan gaya yang ditimbulkan gempa harus mampu untuk

membolehkan tendon untuk menahan 50 siklus pembebanan, yang dibatasi oleh 40 dan 85 persen dari kekuatan tarik yang ditetapkan dari baja prategang.

## 2. Tulangan Transversal

a) Senggang harus dipasang pada daerah komponen struktur rangka berikut:

- Sepanjang dua kali tinggi komponen struktur yang diukur dari muka join ke tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur
- Sepanjang dua kali tinggi komponen struktur pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi dalam hubungan dengan perpindahan lateral inelastis rangka



Gambar 2.7 Pemasangan Tulangan Transversal Pada Balok

- b) Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak boleh lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh lebih dari yang terkecil dari:
    - $d/4$
    - Enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama
    - 150 mm
  - c) Bila sengkang tertutup diperlukan, batang tulangan lentur utama yang terdekat ke muka tarik dan tekan harus mempunyai tumpuan lateral. Spasi batang tulangan lentur yang tertumpu secara transversal tidak boleh melebihi 350 mm.
  - d) Bila sengkang tertutup tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempu pada kedua ujung harus dispasikan dengan jarak tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang panjang komponen struktur.
  - e) Sengkang atau pengikat yang diperlukan untuk menahan geser harus berupa sengkang sepanjang panjang komponen struktur.
  - f) Sengkang pada komponen struktur lentur diizinkan terbentuk dari dua potong tulangan: sebuah sengkang yang mempunyai kait gempu pada kedua ujungnya dan ditutup oleh pengikat silang. Pengikat silang berurutan yang mengikat batang tulangan memanjang yang sama harus mempunyai kait 90 derajatnya pada sisi komponen struktur lentur yang berlawanan. Jika batang tulangan memanjang yang diamankan oleh pengikat silang dikekang oleh slab hanya pada satu sisi komponen struktur rangka lentur, kait pengikat silang 90 derajat harus ditempatkan pada sisi tersebut.
3. Persyaratan Kekuatan Geser
- a) Gaya geser desain,  $V_e$ , harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka-muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen momen

dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin,  $M_{pr}$ , bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentangnya

b) Tulangan transversal harus diproporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$  bilamana poin-poin berikut terjadi:

- Gaya geser yang ditimbulkan gempa yang dihitung sesuai dengan 2.5.1.1.3.a) mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam panjang tersebut
- Gaya tekan aksial terfaktor,  $P_u$ , termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f'_c / 20$

#### 2.5.1.2 Komponen Struktur Rangka Momen Khusus yang Dikenai Beban Lentur dan Aksial

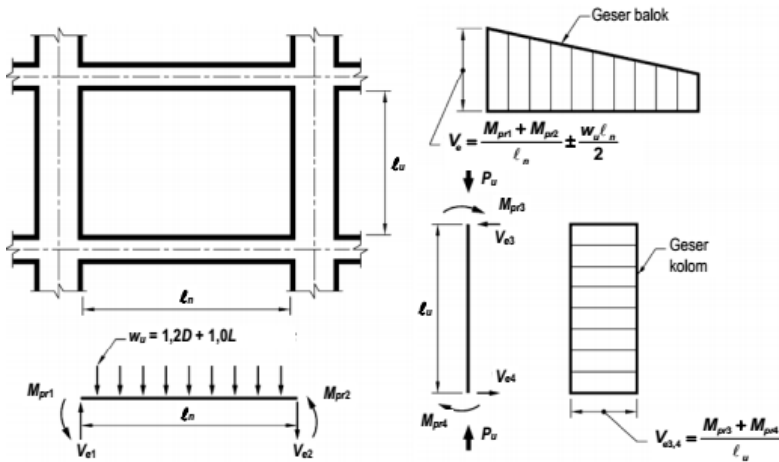
Persyaratan dari subpasal ini berlaku untuk komponen struktur rangka momen khusus yang membentuk bagian sistem penahan gaya gempa dan yang menahan gaya tekan aksial terfaktor  $P_u$  akibat sebarang kombinasi beban yang melebihi  $A_g f'_c / 10$ . Komponen struktur rangka ini juga harus memenuhi kondisi-kondisi dari berikut ini:

- Dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm
- Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4

Selain itu, komponen struktur rangka momen khusus yang dikenai beban lentur dan aksial harus memenuhi kekuatan lentur minimum kolom, tulangan memanjang, tulangan transversal, dan persyaratan kekuatan geser.

#### 1. Kekuatan Lentur Minimum Kolom





Gambar 2.8 Geser Desain Untuk Balok dan Kolom

Catatan:

- 1) Arah gaya geser,  $V_e$ , tergantung pada besaran relatif beban gravitasi dan geser dihasilkan oleh momen-momen ujung.
- 2) Momen-momen ujung  $M_{pr}$  berdasarkan pada tegangan tarik baja sebesar  $1,25f_y$  adalah kekuatan leleh yang ditetapkan. (Kedua momen ujung harus ditinjau dalam kedua arah, searah jarum jam dan berlawanan jarum jam).
- 3) Momen ujung  $M_{pr}$  untuk kolom tidak perlu lebih besar dari momen-momen yang dihasilkan oleh  $M_{pr}$  balok-balok yang merangka ke dalam joint balok-kolom.  $V_e$  tidak boleh kurang dari yang disyaratkan oleh analisis struktural.

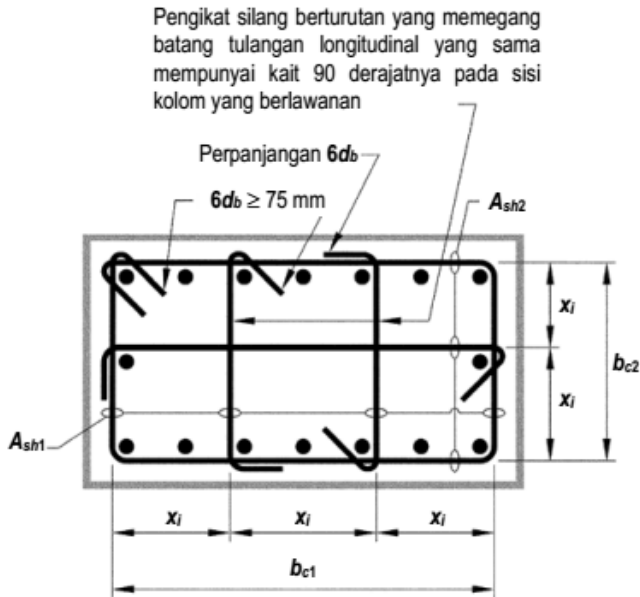
Desain rangka momen khusus harus memenuhi *strong column weak beam* seperti persamaan berikut

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (2.54)$$

## 2. Tulangan Memanjang

- a) Luas tulangan memanjang,  $A_{st}$ , tidak boleh kurang dari  $0,01A_g$  atau lebih dari  $0,06A_g$ .

- b) Pada kolom dengan sengkang tertutup bulat, jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6.
  - c) Sambungan lewatan diizinkan hanya dalam setengah pusat panjang komponen struktur, harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik.
3. Tulangan Transversal
- a) Tulangan transversal harus dipasang sepanjang panjang  $l_o$  dari setiap muka joint dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. Panjang  $l_o$  tidak boleh kurang dari yang terbesar dari:
    - Tinggi komponen struktur pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi
    - Seperenam bentang bersih komponen struktur
    - 450 mm
  - b) Tulangan transversal harus disediakan dengan salah satu dari spiral tunggal atau saling tumpuk, sengkang bulat, atau sengkang persegi dengan atau tanpa pengikat silang. Pengikat silang dengan ukuran batang tulangan yang sama atau yang lebih kecil seperti begelnya diizinkan. Setiap ujung pengikat silang harus memegang batang tulangan longitudinal terluar. Pengikat silang yang berurutan harus diseling ujung-ujungnya sepanjang tulangan longitudinal. Spasi pengikat silang atau kaki-kaki sengkang persegi,  $h_x$ , dalam penampang komponen struktur tidak boleh melebihi 350 mm pusat ke pusat.



Dimensi  $x_l$  dari garis pusat ke garis pusat kaki-kaki pengikat tidak melebihi 350 mm. Rumus  $h_x$  yang digunakan dalam persamaan 21-2 diambil sebagai nilai terbesar dari  $x_l$ .

Gambar 2.9 Pemasangan Tulangan Transversal Pada Kolom

c) Spasi tulangan transversal sepanjang panjang  $l_o$  komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- Seperempat dimensi komponen struktur minimum
- Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil
- $s_o$ , seperti pada persamaan berikut

$$s_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (2.55)$$

nilai  $s_o$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm

d) Jumlah tulangan transversal harus disediakan seperti yang diisyaratkan pada poin-poin berikut

- Rasio volume tulangan spiral atau sengkang bulat,  $\rho_s$ , tidak boleh kurang dari persamaan 2.56

$$\rho_s = 0,12 \left( \frac{f_c'}{f_{yt}} \right) \quad (2.56)$$

- Luas penampang total tulangan sengkang persegi,  $A_{sh}$ , tidak boleh kurang dari persamaan 2.57 dan 2.58

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (2.57)$$

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}} \quad (2.58)$$

- e) Di luar panjang  $l_o$ , kolom harus mengandung tulangan spiral atau sengkang yang dengan spasi pusat ke pusat,  $s$ , tidak melebihi yang lebih kecil dari enam kali diameter batang tulangan kolom longitudinal terkecil dan 150 mm.
- f) Kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku yang tak menerus, seperti dinding, harus memenuhi poin-poin berikut:
  - Tulangan transversal seperti yang disyaratkan dalam b) sampai d) harus disediakan sepanjang tinggi keseluruhannya pada semua tingkat di bawah diskontinuitas jika gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur ini berhubungan dengan pengaruh gempa, melebihi  $A_g f_c' / 10$ . Bilamana gaya desain telah diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan lebih elemen vertikal sistem penahan gaya gempa, batasan  $A_g f_c' / 10$  harus ditingkatkan menjadi  $A_g f_c' / 4$
  - Tulangan transversal harus menerus ke dalam komponen struktur tak menerus paling sedikit sejarak sama dengan  $l_d$ . Bilamana ujung bawah kolom berhenti pada suatu dinding, tulangan transversal perlu harus menerus ke dalam dinding paling sedikit  $l_d$  dari batang tulangan kolom longitudinal terbesar di titik pemutusan. Bilamana kolom berhenti pada fondasi tapak (footing), setempat, atau penutup tiang fondasi, tulangan

transversal perlu harus menerus paling sedikit 300 mm ke dalam fondasi tapak, setempat, atau penutup tiang fondasi.

- g) Bila selimut beton di luar tulangan transversal pengekan yang ditetapkan oleh a), e), f) di atas melebihi 100 mm, tulangan transversal tambahan harus disediakan. Selimut beton untuk tulangan transversal tambahan tidak boleh melebihi 300 mm.

#### 4. Persyaratan Kekuatan Geser

- a) Gaya geser desain,  $V_e$ , harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka pertemuan-pertemuan (joints) di setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya joint ini harus ditentukan menggunakan kekuatan momen maksimum yang mungkin,  $M_{pr}$ , di setiap ujung komponen struktur yang berhubungan dengan rentang dari beban aksial terfaktor,  $P_u$ , yang bekerja pada komponen struktur. Geser komponen struktur tidak perlu melebihi yang ditentukan dari kekuatan joint berdasarkan pada  $M_{pr}$  komponen struktur transversal yang merangka ke dalam joint. Dalam semua kasus  $V_e$  tidak boleh kurang dari geser terfaktor yang ditentukan oleh analisis struktur.
- b) Tulangan transversal sepanjang panjang  $l_o$ , harus diproporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$  bilamana poin-poin berikut terjadi:
  - Gaya geser ditimbulkan gempa, yang dihitung sesuai poin a) di atas, mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam  $l_o$
  - Gaya tekan aksial terfaktor,  $P_u$ , termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f_c' / 10$

##### 2.5.1.3 Hubungan Balok-Kolom

Hubungan balok-kolom pada rangka momen khusus yang menahan gaya gempa berlaku persyaratan-persyaratan yang harus terpenuhi. Gaya-gaya tulangan balok longitudinal di muka joint harus ditentukan dengan mengasumsikan bahwa tegangan pada

tulangan tarik lentur adalah  $1,25f_y$ . Bila tulangan balok longitudinal menerus melalui joint balok-kolom, dimensi kolom yang sejajar terhadap tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter batang tulangan balok longitudinal terbesar untuk beton normal (normal weight). Hubungan balok-kolom harus memenuhi persyaratan tulangan transversal, kekuatan geser, dan panjang penyaluran batang tulangan dalam kondisi tarik.

#### 1. Tulangan Transversal

- a) Tulangan transversal joint harus memenuhi salah satu dari tulangan transversal poin b), c), d), dan g) pada sub bab komponen struktur rangka pemikul momen khusus yang dikenai beban lentur dan aksial
- b) Bilamana komponen-komponen struktur merangka ke dalam semua empat sisi joint dan bilamana setiap lebar komponen struktur adalah paling sedikit tiga perempat lebar kolom. Jumlah tulangan yang ditetapkan dalam sub bab komponen struktur rangka pemikul momen khusus yang dikenai beban lentur dan aksial poin d).1 dan d).2 diizinkan untuk direduksi dengan setengahnya, dan spasi yang disyaratkan dalam poin c) diizinkan untuk ditingkatkan sampai 150 mm dalam tinggi keseluruhan h komponen struktur rangka yang terpendek.

#### 2. Kekuatan Geser

Untuk beton berat normal,  $V_n$  joint tidak boleh diambil sebagai yang lebih besar dari nilai yang ditetapkan di bawah

- Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada semua empat muka

$$1,7\sqrt{f'_c}A_j \quad (2.59)$$

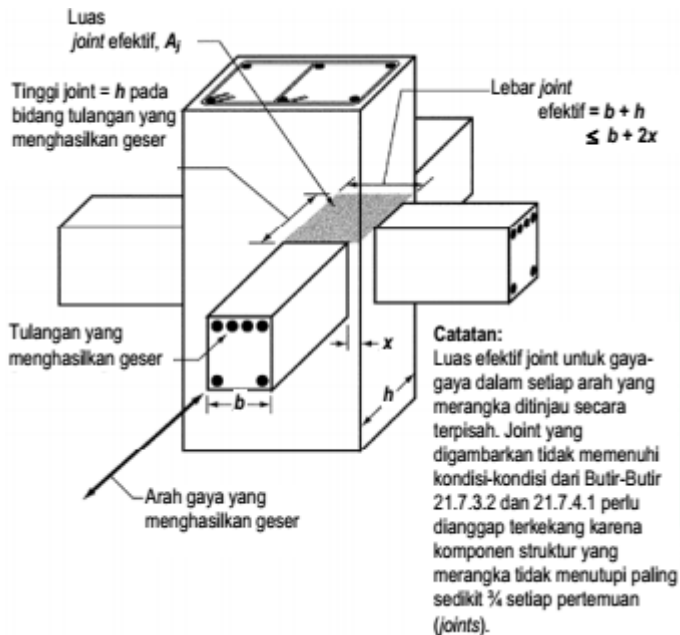
- Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada tiga muka atau pada dua muka yang berlawanan

$$1,2\sqrt{f'_c}A_j \quad (2.60)$$

- Untuk kasus-kasus lainnya

$$1,0\sqrt{f'_c}A_j \quad (2.61)$$

Suatu balok yang merangka ke dalam suatu muka dianggap memberikan pengekangan pada joint bila balok tersebut menutupi paling sedikit tiga perempat muka joint. Perpanjangan balok paling sedikit satu kali tinggi balok keseluruhan  $h$  melewati muka joint diizinkan untuk dianggap mencukupi untuk mengekang muka joint tersebut.



Gambar 2.10 Luas Joint Efektif

$A_j$  adalah luas penampang efektif dalam suatu joint yang dihitung dari tinggi joint kali lebar joint efektif. Tinggi joint harus merupakan tinggi keseluruhan kolom,  $h$ . Lebar joint efektif harus merupakan lebar keseluruhan kolom, kecuali bilamana suatu balok merangka ke dalam suatu kolom yang lebih lebar, lebar joint efektif tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari poin-poin berikut:

- Lebar balok ditambah tinggi joint
  - Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom
3. Panjang Penyaluran Batang dalam Kondisi Tarik
- a) Untuk ukuran batang tulangan  $\emptyset$ -10 sampai D-36, panjang penyaluran,  $l_{dh}$ , untuk batang tulangan dengan kait 90 derajat standar pada beton normal (normal weight) tidak boleh kurang dari yang terbesar dari  $8d_b$ , 150 mm, dan panjang yang disyaratkan oleh Persamaan berikut

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \sqrt{f_c'}} \quad (2.62)$$

Kait 90 derajat harus ditempatkan dalam inti terkekang dari suatu kolom atau dari suatu elemen pembatas.

- b) Untuk ukuran batang tulangan  $\emptyset$ -10 sampai D-36,  $l_d$ , panjang penyaluran dalam kondisi tarik untuk batang tulangan lurus, tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari poin-poin berikut
- 2,5 kali panjang yang disyaratkan oleh poin a) bila tinggi beton yang dicetak dalam satu kali angkat di bawah batang tulangan tidak melebihi 300 mm
  - 3,25 kali panjang yang disyaratkan oleh poin a) bila tinggi beton yang dicetak dalam satu kali angkat di bawah batang tulangan melebihi 300 mm
- c) Batang tulangan lurus yang berhenti pada suatu joint harus melewati inti terkekang dari suatu kolom atau dari suatu elemen pembatas. Sebarang bagian  $l_d$  tidak dalam inti terkekang harus ditingkatkan dengan faktor sebesar 1,6 kali

## 2.5.2 Persyaratan Dinding Struktur Beton Khusus (DSBK)

Berikut ini adalah persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi dalam merencanakan Dinding Struktur Beton Khusus (DSBK) dalam memikul gaya gempa.

### 2.5.2.1 Tulangan



Penulangan dinding geser harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan dalam SNI 2847-2013 seperti berikut ini

1. Rasio tulangan badan (web) terdistribusi,  $\rho_l$  dan  $\rho_t$ , untuk dinding struktur tidak boleh kurang dari 0,0025, kecuali bahwa jika  $V_u$  tidak melebihi  $0,083\lambda A_{cv}\sqrt{f_c'}$ ,  $\rho_l$  dan  $\rho_t$  diizinkan untuk direduksi menjadi nilai-nilai yang disyaratkan dalam SNI 29847-2013 pasal 14.3. Spasi tulangan untuk masing- masing arah pada dinding struktur tidak boleh melebihi 450 mm. Tulangan yang menyumbang pada  $V_n$  harus menerus dan harus didistribusikan melintasi bidang geser.
2. Paling sedikit dua tirai tulangan harus digunakan pada suatu dinding jika  $V_u$  melebihi  $0,17\lambda A_{cv}\sqrt{f_c'}$
3. Tulangan pada dinding struktur harus disalurkan atau disambung untuk  $f_y$  dalam kondisi tarik sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 12, kecuali:
  - a) Tinggi efektif komponen struktur yang dirujuk dalam SNI 2847-2013 pasal 12.10.3 diizinkan diambil sebesar  $0,08l_w$  untuk dinding.
  - b) Persyaratan dari SNI 2847-2013 pasal 12.11, 12.12, dan 12.13 tidak perlu dipenuhi.
  - c) Pada lokasi dimana pelelehan tulangan longitudinal sepertinya terjadi sebagai akibat perpindahan lateral, panjang penyaluran tulangan longitudinal harus sebesar 1,25 kali nilai yang dihitung untuk  $f_y$  dalam kondisi tarik.
  - d) Sambungan mekanis tulangan harus memenuhi SNI 2847-2013 pasal 21.1.6 dan sambungan las tulangan harus memenuhi 21.1.7.

#### 2.5.2.2 Gaya Desain

$V_u$  harus diperoleh dari analisis beban lateral sesuai dengan kombinasi beban terfaktor sesuai SNI 2847-2013

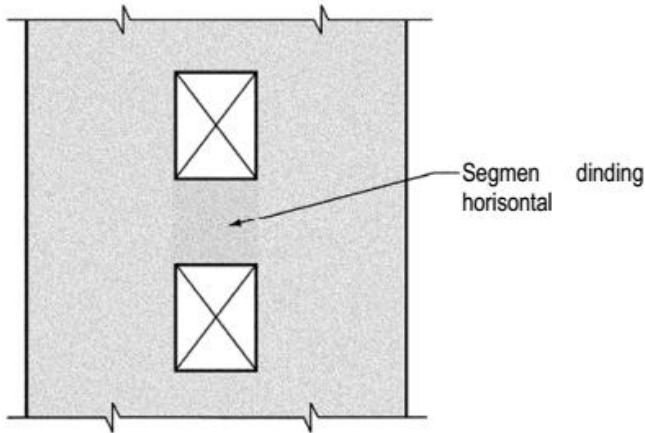
#### 2.5.2.3 Kekuatan geser

Desain kekuatan geser harus memenuhi persyaratan berikut ini yang diambil dari SNI 2847-2013

1.  $V_n$  dinding struktur tidak boleh melebihi

$$V_n = A_{cv} \left( \alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y \right) \quad (2.62)$$

2. Pada poin 1 di atas, nilai rasio  $h_w/l_w$  yang digunakan untuk menentukan  $V_n$  untuk segmen-segmen dinding harus yang lebih besar dari rasio-rasio untuk dinding keseluruhan dan segmen dinding yang ditinjau.
3. Dinding harus mempunyai tulangan geser terdistribusi yang memberikan tahanan dalam dua arah ortogonal pada bidang dinding. Jika  $h_w/l_w$  tidak melebihi 2,0, rasio tulangan  $\rho_t$  tidak boleh kurang dari rasio tulangan  $\rho_t$ .
4. Untuk semua segmen dinding vertikal yang menahan gaya lateral yang sama, kombinasi  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar dari  $0,66A_{cv}\sqrt{f'_c}$ , dimana  $A_{cv}$  adalah luas kombinasi bruto dari semua segmen dinding vertikal. Untuk salah satu dari segmen dinding vertikal individu,  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar dari  $0,083A_{cw}\sqrt{f'_c}$ , dimana  $A_{cw}$  adalah luas penampang beton dari segmen dinding vertikal individu yang ditinjau.
5. Untuk segmen dinding horizontal, termasuk balok kopel,  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar dari  $0,083A_{cw}\sqrt{f'_c}$ , dimana  $A_{cw}$  adalah luas penampang beton suatu segmen dinding horisontal atau balok kopel (Gambar 2.11).



Gambar 2.11 Dinding dengan Buka-an

#### 2.5.2.4 Desain untuk Beban Lentur dan Aksial

1. Dinding struktur dan bagian-bagian dari dinding tersebut yang dikenai kombinasi beban lentur dan aksial harus didesain sesuai SNI 2847-2013 pasal 10.2 dan 10.3 kecuali bahwa pasal 10.3.6 dan persyaratan regangan nonlinier dari pasal 10.2.2 tidak berlaku. Beton dan tulangan longitudinal yang disalurkan dalam lebar sayap (flange) efektif, elemen pembatas, dan badan (web) dinding harus dianggap efektif. Pengaruh bukaan dinding harus ditinjau.
2. Kecuali bila analisis yang lebih detail dilakukan, lebar sayap (flange) efektif dari penampang sayap (flange) harus menerus dari muka badan (web) suatu jarak yang sama dengan yang lebih kecil dari setengah jarak ke badan (web) dinding yang bersebelahan dan 25 persen tinggi dinding total.

#### 2.5.2.5 Elemen Pembatas Dinding Struktur Khusus

1. Kebutuhan untuk elemen pembatas khusus di tepi-tepi dinding struktur harus dievaluasi sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 21.9.6.2 atau pasal 21.9.6.3. Persyaratan dari pasal 21.9.6.4 dan pasal 21.9.6.5 juga harus dipenuhi.

2. Subpasal ini berlaku untuk dinding atau pier dinding yang secara efektif menerus dari dasar struktur sampai sisi paling dinding dan didesain untuk mempunyai penampang kritis tunggal untuk lentur dan beban aksial. Dinding yang tidak memenuhi persyaratan-persyaratan ini harus didesain sesuai poin 3.

- a) Daerah tekan harus diperkuat dengan elemen pembatas khusus dimana

$$c \geq \frac{l_w}{600(\delta_u/h_w)} \quad (2.63)$$

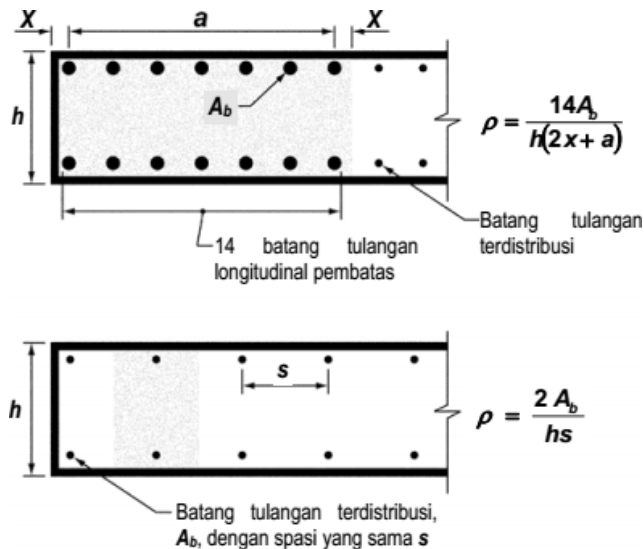
$c$  dalam persamaan 2.63 berkaitan dengan sumbu netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal yang konsisten dengan perpindahan desain  $\delta_u$ . Rasio  $\delta_u/h_w$  dalam Persamaan (2.63) tidak boleh diambil kurang dari 0,007

- b) Bila elemen pembatas khusus disyaratkan oleh poin 2(a), tulangan elemen pembatas khusus harus menerus secara vertikal dari penampang kritis suatu jarak tidak kurang dari yang lebih besar dari  $l_w$  atau  $M_u/4V_u$
3. Dinding struktur yang tidak didesain terhadap ketentuan-ketentuan dari poin 2 harus memiliki elemen pembatas khusus pada batas-batas dan tepi-tepi sekeliling bukaan dinding struktur dimana tegangan tekan serat terjauh maksimum, terkait dengan kombinasi beban termasuk pengaruh gempa,  $E$ , melebihi  $0,2f'_c$ . Elemen pembatas khusus diizinkan untuk dihentikan dimana tegangan tekan yang dihitung kurang dari  $0,15f'_c$ . Tegangan-tegangan harus dihitung untuk gaya-gaya terfaktor menggunakan model elastis linier dan sifat penampang bruto. Untuk dinding dengan sayap (flange), lebar sayap (flange) efektif seperti didefinisikan dalam subbab 2.5.2.4 poin 2 harus digunakan.
4. Bila elemen pembatas khusus disyaratkan oleh poin 2 atau 3, maka a) sampai e) harus dipenuhi:
- a) Elemen pembatas harus menerus secara horisontal dari serat tekan terluar suatu jarak tidak kurang dari  $c - 0,1l_w$  dan  $c/2$ . dimana  $c$  adalah tinggi sumbu netral terbesar yang

- dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal yang konsisten dengan  $\delta_u$ ;
- b) Dalam penampang bersayap (flanged), elemen pembatas harus mencakup lebar sayap (flange) efektif dalam kondisi tekan dan harus menerus paling sedikit 300 mm ke dalam badan (web);
  - c) Tulangan transversal elemen pembatas harus memenuhi persyaratan dari poin 2 sampai 4, kecuali Persamaan (2.57) tidak perlu dipenuhi dan batas spasi tulangan transversal dari poin 4.a) harus sebesar sepertiga dari dimensi terkecil dari elemen pembatas;
  - d) Tulangan transversal elemen pembatas di dasar dinding harus menerus ke dalam tumpuan paling sedikit  $l_d$ , menurut 2.5.3.1 poin c), dari tulangan longitudinal terbesar pada elemen pembatas khusus kecuali bila elemen pembatas khusus berhenti pada fondasi tapak, fondasi pelat penuh (mat), atau penutup tiang fondasi, dimana tulangan transversal elemen pembatas khusus harus menerus paling sedikit 300 mm ke dalam fondasi tapak, fondasi pelat penuh, atau penutup tiang fondasi;
  - e) Tulangan horizontal dalam badan (web) dinding harus menerus ke dalam 150 mm dari ujung dinding. Tulangan harus diangkur untuk mengembangkan  $f_y$  dalam kondisi tarik dalam inti terkekang dari elemen pembatas menggunakan kait atau kepala standar. Bila elemen pembatas terkekang mempunyai panjang cukup untuk menyalurkan tulangan badan horizontal, dan  $A_v f_y / s$  dari tulangan badan tidak lebih besar dari  $A_{sh} f_{yt} / s$  dari tulangan transversal elemen pembatas paralel terhadap tulangan badan, diizinkan untuk menghentikan tulangan badan tanpa kait atau kepala standar.
5. Bila elemen pembatas khusus tidak disyaratkan oleh poin 2 atau 3, (a) dan (b) harus dipenuhi (Gambar 2.12):
- a) Bila rasio tulangan longitudinal di pembatas dinding lebih besar dari  $2,8/f_y$ , tulangan transversal pembatas harus

memenuhi 2.5.1.2 poin 3.b), dan 2.5.2.5 poin 4.a). Spasi longitudinal maksimum tulangan transversal pada pembatas tidak boleh melebihi 200 mm;

- b) Kecuali bila  $V_u$  pada bidang dinding kurang dari  $0,083A_c\lambda\sqrt{f'_c}$ , tulangan horizontal yang berhenti pada tepi dinding struktur tanpa elemen pembatas harus memiliki kait standar yang memegang tulangan tepi atau tulangan tepi harus dilingkupi dalam sengkang U yang memiliki ukuran dan spasi yang sama seperti, dan disambung lewatkan ke, tulangan horizontal.



Gambar 2.12 Rasio Tulangan Longitudinal Untuk Kondisi Pembatas Dinding Tipikal

## 2.6 Beton Pratekan

### 2.6.1 Pengertian Beton Pratekan

Beton pratekan merupakan kombinasi antara beton dengan mutu yang tinggi dan baja bermutu tinggi dikombinasikan dengan

cara aktif. Cara aktif ini dapat dicapai dengan cara menarik baja dengan menahannya ke beton, sehingga beton dalam keadaan tertekan. Karena penampang beton sebelum beban bekerja telah dalam kondisi tertekan, maka bila beban bekerja tegangan tarik yang terjadi dapat di-eliminir oleh tegangan tekan yang telah diberikan pada penampang sebelum beban bekerja (Soetoyo, 2015). Salah satu definisi terbaik mengenai beton prategang diberikan oleh komisi ACI dalam beton prategang bahwa beton prategang merupakan beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal sampai batas tertentu. Pada elemen-elemen beton bertulang, sistem prategang biasanya dilakukan dengan menarik tulangnya. Dapat ditambahkan bahwa beton prategang, dalam arti seluas-luasnya, dapat juga termasuk keadaan (kasus) dimana tegangan-tegangan yang diakibatkan oleh regangan-regangan internal internal diimbangi sampai batas tertentu, seperti pada konstruksi yang melengkung (Lin dan Burns, 2000).

### 2.6.2 Tegangan Ijin Pada Baja dan Beton

Tegangan ijin baja sesuai SNI 2847-2013 pasal 18.5 tidak boleh melampaui nilai-nilai berikut :

- a) Akibat gaya penarikan (*jacking*) baja prategang, sebesar  $0,94f_{py}$  tetapi tidak lebih besar dari yang lebih kecil dari  $0,80f_{pu}$  dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pembuat baja prategang atau perangkat angkur.
- b) Tendon pasca tarik, pada perangkat angkur dan kopler (*couplers*), sesaat setelah transfer gaya, sebesar  $0,70f_{pu}$

Tegangan ijin pada beton sesuai SNI 2847-2013 sesuai pasal 18.4 adalah sebagai berikut:

- a) Tegangan pada beton sesaat setelah penyaluran prategang (sebelum kehilangan prategang tergantung waktu):
  - Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan kecuali seperti diizinkan dalam poin b) tidak boleh melebihi  $0,60f'_{ci}$

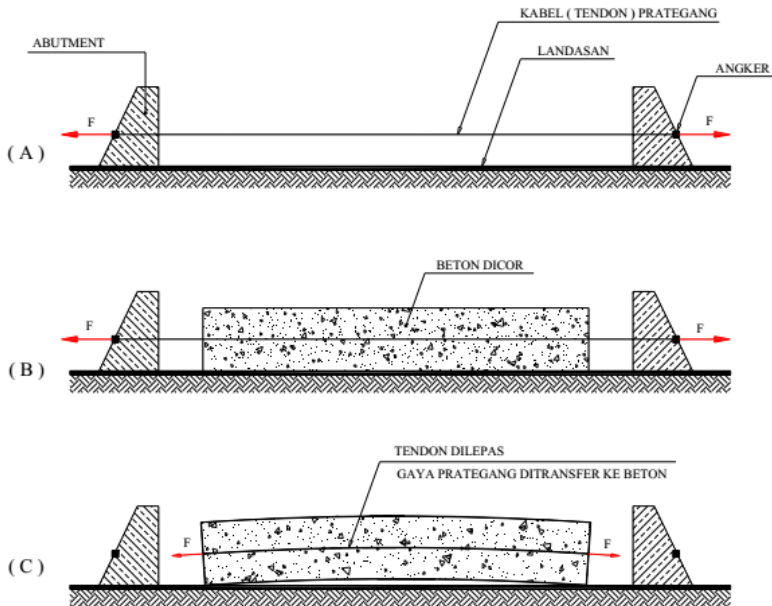
- Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan pada ujung-ujung komponen tumpuan sederhana tidak boleh melebihi  $0,70f'_{ci}$
  - Bila kekuatan tarik beton yang dihitung,  $f_t$ , melebihi  $0,5\sqrt{f'_{ci}}$  pada ujung-ujung komponen struktur terdukung sederhana, atau  $0,25\sqrt{f'_{ci}}$  pada lokasi lainnya, tulangan dengan lekatan tambahan harus disediakan dalam daerah tarik untuk menahan gaya tarik total dalam beton yang dihitung dengan asumsi penampang tak retak.
- b) Untuk komponen struktur lentur prategang Kelas U dan Kelas T, tegangan pada beton saat beban layan (berdasarkan pada sifat penampang tak retak, dan setelah pembolehan untuk semua kehilangan prategang) tidak boleh melebihi berikut ini:
- Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan akibat prategang ditambah beban tetap, sebesar  $0,45f'_c$
  - Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan akibat prategang ditambah beban total, sebesar  $0,60f'_c$

## 2.6.3 Metode Sistem Pratekan

### 2.6.3.1 Sistem Pratarik (Pre-tension)

Metode ini baja prategang diberi gaya prategang dulu sebelum beton dicor, oleh karena itu disebut metode pratarik. Adapun sistem dari pratarik ini adalah sebagai berikut:





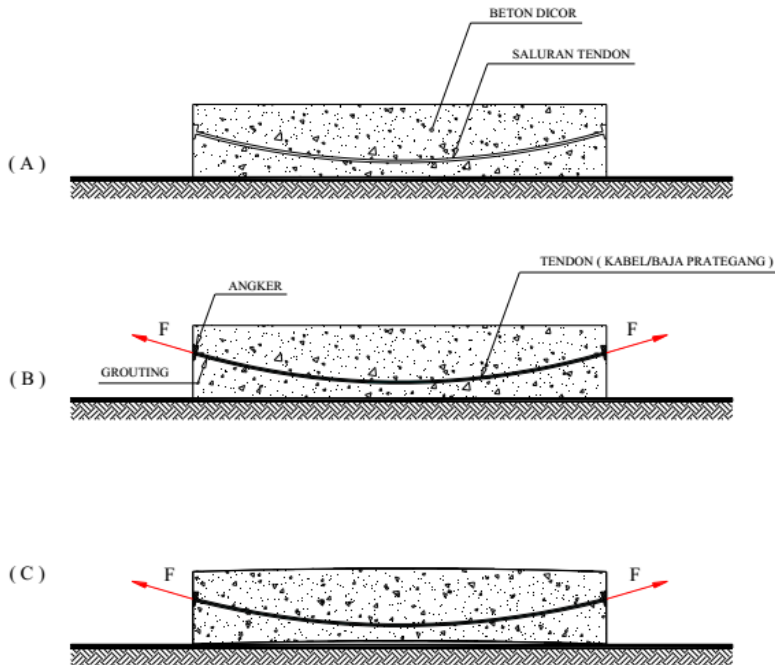
Gambar 2.13 Ilustrasi Beton Pratekan Pratarik (Soetoyo, 2015)

- Tahap 1: Kabel (Tendon) prategang ditarik atau diberi gaya prategang kemudian diangker pada suatu abutment tetap (Gambar 2.13 A).
- Tahap 2: Beton dicor pada cetakan (*formwork*) dan landasan yang sudah disediakan sedemikian sehingga melingkupi tendon yang sudah diberi gaya prategang dan dibiarkan mengering (Gambar 2.13 B).
- Tahap 3: Setelah beton mengering dan cukup umur kuat untuk menerima gaya prategang, tendon dipotong dan dilepas, sehingga gaya prategang ditransfer ke beton (Gambar 2.13 C).

Setelah gaya prategang ditransfer ke beton, balok beton tersebut akan melengkung ke atas sebelum menerima beban kerja. Setelah beban kerja bekerja, maka balok beton tersebut akan rata.

#### 2.6.3.2 Sistem Pascatarik (Post-tension)

Pada metode pascatarik, beton dicor lebih dahulu, dimana sebelumnya telah disiapkan saluran kabel atau tendon yang disebut *duct*. Adapun sistem pascatarik ini adalah sebagai berikut:



Gambar 2.14 Ilustrasi Beton Patekan Pascatarik (Soetoyo, 2015)

- Tahap 1: Dengan cetakan (formwork) yang telah disediakan lengkap dengan saluran/selongsong kabel prategang (tendon duct) yang dipasang melengkung sesuai bidang momen balok, beton dicor (Gambar 2.14 A).
- Tahap 2: Setelah beton cukup umur dan kuat memikul gaya prategang, tendon atau kabel prategang dimasukkan dalam selongsong (tendon duct), kemudian ditarik untuk mendapatkan gaya prategang. Metode pemberian gaya prategang ini, salah satu ujung kabel

diangker, kemudian ujung lainnya ditarik (ditarik dari satu sisi). Ada pula yang ditarik di kedua sisinya dan diangker secara bersamaan. Setelah diangkur, kemudian saluran di grouting melalui lubang yang telah disediakan (Gambar 2.14 B).

Tahap 3: Setelah diangkur, balok beton menjadi tertekan, jadi gaya prategang telah ditransfer ke beton. Karena tendon dipasang melengkung, maka akibat gaya prategang tendon memberikan beban merata kebalok yang arahnya keatas, akibatnya balok melengkung keatas (Gambar 2.14 C).

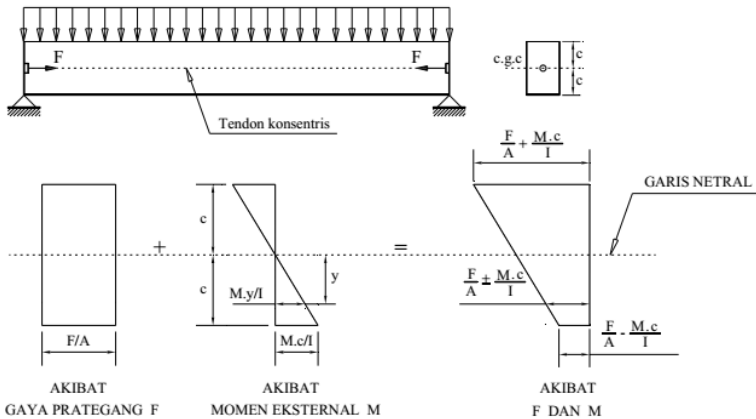
Karena alasan transportasi dari pabrik beton ke site, maka biasanya beton prategang dengan sistem post-tension ini dilaksanakan secara segmental ( balok dibagi-bagi, misalnya dengan panjang 1 ~1,5 m ), kemudian pemberian gaya prategang dilaksanakan di site, setelah balok segmental tersebut dirangkai.

#### **2.6.4 Prinsip Dasar Beton Pratekan**

Prinsip dasar beton pratekan dibagi menjadi 3 konsep yang akan dijelaskan sebagai berikut:

##### **2.6.4.1 Konsep Pertama – Sistem Prategang Untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan yang Elastis.**

Eugene Freyssinet menggambarkan dengan memberikan tekanan terlebih dahulu (pratekan) pada bahan beton yang pada dasarnya getas akan menjadi bahan yang elastis. Dengan memberikan tekanan (dengan menarik baja mutu tinggi), beton yang bersifat getas dan kuat memikul tekanan, akibat adanya tekanan internal ini dapat memikul tegangan tarik akibat beban eksternal. Hal ini dapat dijelaskan dengan Gambar 2.15



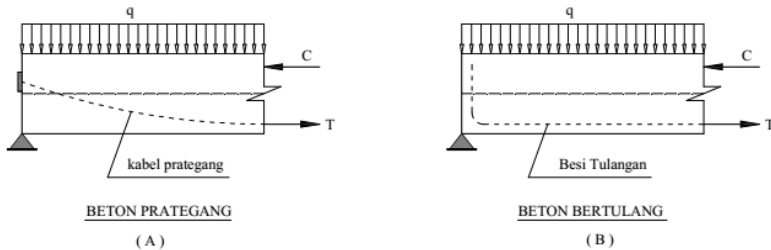
Gambar 2.15 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris (Soetoyo, 2015)

Akibat diberi gaya tekan (gaya prategang)  $F$  yang bekerja pada pusat berat penampang beton akan memberikan tegangan tekan yang merata diseluruh penampang beton sebesar  $F/A$ , dimana  $A$  adalah luas penampang beton tersebut. Akibat beban merata (termasuk berat sendiri beton) akan memberikan tegangan tarik dibawah garis netral dan tegangan tekan di atas garis netral yang besarnya pada serat terluar penampang adalah  $\sigma = My/I$ . Apabila kedua tegangan akibat gaya prategang dan tegangan akibat momen lentur dijumlahkan, maka tegangan pada serat terluar penampang adalah:

$$\sigma_{total} = -\frac{F}{A} + \frac{My}{I} \quad (2.64)$$

#### 2.6.4.2 Konsep Kedua – Sistem Prategang untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton Mutu Tinggi

Konsep ini hampir sama dengan konsep beton bertulang biasa, yaitu beton prategang merupakan kombinasi kerja sama antara baja prategang dan beton, dimana beton menahan beban tekan dan baja prategang menahan beban tarik. Hal ini dapat dijelaskan dalam Gambar 2.16 sebagai berikut:

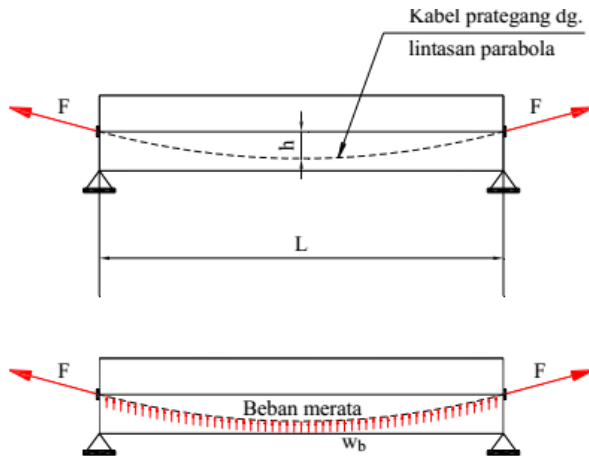


Gambar 2.16 Momen Penahan Internal pada Balok Beton Prategang dan Beton Bertulang (Soetoyo, 2015)

Pada beton prategang, baja prategang ditarik dengan gaya prategang  $T$  yang mana membentuk suatu kopel momen dengan gaya tekan pada beton  $C$  untuk melawan momen akibat beban luar. Sedangkan pada beton bertulang biasa, besi penulangan menahan gaya tarik  $T$  akibat beban luar, yang juga membentuk kopel momen dengan gaya tekan pada beton  $C$  untuk melawan momen luar akibat beban luar.

#### 2.6.4.3 Konsep Ketiga – Sistem Prategang untuk Mencapai Keseimbangan beban

Disini menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat keseimbangan gaya-gaya pada suatu balok. Pada design struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri, sehingga batang yang mengalami lendutan seperti plat, balok dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Hal ini dapat dijelaskan dengan Gambar 2.17 di bawah ini:



Gambar 2.17 Balok Prategang dengan Tendon Parabola (Soetoyo, 2015)

Suatu balok beton diatas dua perletakan (simple beam) yang diberi gaya prategang  $F$  melalui suatu kabel prategang dengan lintasan parabola. Beban akibat gaya prategang yang terdistribusi secara merata ke arah atas dinyatakan:

$$w_b = \frac{8Fh}{L^2} \quad (2.65)$$

jadi beban merata akibat beban ( mengarah kebawah ) diimbangi oleh gaya merata akibat prategang  $w_b$  yang mengarah keatas.

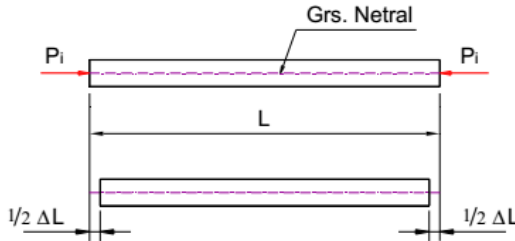
## 2.6.5 Kehilangan Gaya Pratekan

Kehilangan gaya prategang adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon pada tahap-tahap pembebanan. Kehilangan gaya prategang terdapat beberapa macam yang akan dijelaskan sebagai berikut:

### 2.6.5.1 Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan Elastis Beton

#### 1) Sistem Pratarik

Kehilangan tegangan akibat perpendekan elastik (*elastic shortening*) tergantung pada rasio antara modulus elastisitas beton dan tegangan beton dimana baja prategang ditelatakan.

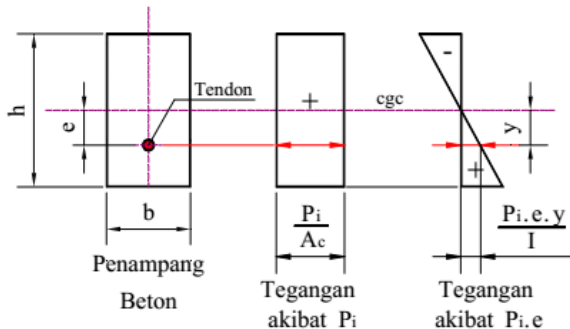


Gambar 2.18 Perpendekan Elastis Beton Prategang Sistem Pratarik dengan Gaya Prategang di Pusat Garis Netral (Soetoyo, 2015)

Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis apabila gaya prategang tepat di pusat garis netral dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta f_p = \frac{n P_i}{A_c + n A_{sp}} \quad (2.66)$$

Apabila kabel prategang dipasang eksentris seperti Gambar 2.19,



Gambar 2.19 Perpendekan Elastis Beton Prategang Sistem Pascatarik dengan Kabel eksentris (Soetoyo, 2015)

maka perumusan kehilangan prategang dengan kabel dipasang eksentris dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta f_p = n \left( \frac{P_i}{A_c} + \frac{P_i e y}{I} \right) \quad (2.67)$$

Dimana:  $\Delta f_p$  = kehilangan prategang  
 $P_i$  = gaya prategang awal  
 $A_c$  = luas penampang beton  
 $A_{sp}$  = luas penampang baja prategang  
 $e$  = eksentrisitas gaya prategang terhadap pusat garis netral  
 $y$  = jarak dari serat dimana tegangan beton diukur dari pusat garis netral  
 $I$  = momen inersia penampang

## 2) Sistem Pascatarik

Pada metode post tension (pascatarik) yang hanya menggunakan kabel tunggal tidak ada kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton, karena gaya prategang diukur setelah perpendekan elastis beton terjadi. Jika kabel prategang menggunakan lebih dari satu kabel, maka kehilangan gaya prategang ditentukan oleh kabel yang pertama ditarik dan memakai harga setengahnya untuk mendapatkan harga rata-rata semua kabel. Kehilangan gaya prategang pada metode post tension dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta f_p = 0,5 \frac{E_s}{E_c} f_c \quad (2.68)$$

Dimana:  $\Delta f_p$  = kehilangan prategang  
 $E_s$  = modulus elastisitas baja prategang  
 $E_c$  = modulus elastisitas beton  
 $f_c$  = tegangan pada penampang beton pada level baja prategang

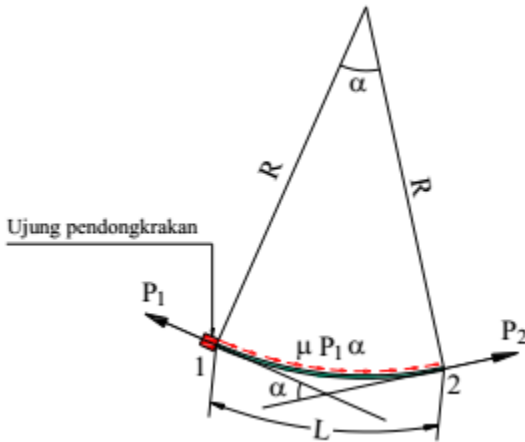
### 2.6.5.2 Kehilangan Prategang Akibat Gesekan (friksi) Sepanjang Kelengkungan

Pada struktur beton prategang dengan tendon yang dipasang melengkung ada gesekan antara sistem penarik (jacking)



dan angkur, sehingga tegangan yang ada pada tendon atau kabel prategang akan lebih kecil dari pada bacaan pada alat baca tegangan (*pressure gauge*). Kehilangan prategang akibat gesekan pada tendon akan sangat dipengaruhi oleh :

- Efek gerakan/goyangan dari selongsong (*wobble*) kabel prategang, untuk itu dipergunakan koefisien wobble  $K$ .
- Kelengkungan tendon/kabel prategang, untuk itu digunakan koefisien gesekan  $\mu$ .



Gambar 2.20 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Gesekan  
(Soetoyo, 2015)

Berdasarkan Gambar 2.20, kehilangan gaya prategang total sepanjang kabel akibat lengkungan kabel adalah:

$$\frac{P_1 - P_2}{P_1} = -KL - \mu\alpha \quad (2.69)$$

- Dimana:  $P_1$  = gaya prategang di titik 1  
 $P_2$  = gaya prategang di titik 2  
 $L$  = panjang kabel prategang dari titik 1 ke titik 2  
 $\alpha$  = sudut pada tendon  
 $\mu$  = koefisien gesekan  
 $K$  = koefisien *wobble*

### 2.6.5.3 Kehilangan Prategang Akibat Slip di Pengangkuran

Hal ini terjadi pada saat baja/kabel prategang dilepas dari mesin penarik (dongkrak) kemudian kabel ditahan oleh baji dipengangkuran dangaya prategang ditransfer dari mesin penarik ke angkur. Besarnya slip pada pengangkuran ini tergantung pada tipe baji dan tegangan pada kabel prategang ( tendon ). Slip dipengangkuran itu rata-rata biasanya mencapai 2,5 mm. Besarnya perpanjangan total tendon adalah:

$$\Delta L = \frac{f_c}{E_s} L \quad (2.70)$$

besarnya kehilangan prategang akibat slip dapat dituliskan sebagai berikut:

$$ANC = \frac{S_{rata-rata}}{\Delta L} \times 100\% \quad (2.71)$$

Dimana:  $ANC$  = prosentase kehilangan prategang akibat slip angkur

$\Delta L$  = deformasi pada angkur

$f_c$  = tegangan pada beton

$E_s$  = modulus elastisitas baja prategang

$L$  = panjang kabel

$S_{rata-rata}$  = harga rata-rata slip angkur

### 2.6.5.4 Kehilangan Prategang Akibat Creep (Rangkak)

Kehilangan Gaya Prategang yang diakibatkan oleh Creep (Rangkak) dari beton ini merupakan salah satu kehilangan gaya prategang yang tergantung pada waktu (*time dependent loss of stress*) yang diakibatkan oleh proses penuaan dari beton selama pemakaian. Ada 2 cara dalam menghitung kehilangan gaya prategang akibat creep (rangkak) beton ini, yaitu:

#### 1) Metode Regangan Rangkak Batas

Kehilangan tegangan pada baja prategang akibat rangkak dapat dituliskan dengan persamaan:

$$\Delta f_{CR} = \varepsilon_{ce} f_c E_s \quad (2.72)$$

Dimana:  $\Delta f_{CR}$  = kehilangan tegangan akibat *creep* (rangkak)

$\varepsilon_{ce}$  = regangan elastis

$$\begin{aligned} f_c &= \text{tegangan pada beton} \\ E_s &= \text{modulus elastisitas baja prategang} \end{aligned}$$

## 2) Metode Koefisien Rangkak

Kehilangan tegangan pada baja prategang akibat rangkak dapat dituliskan dengan persamaan:

$$\Delta f_{CR} = \varepsilon_{ce} E_s = \varphi \frac{f_c}{E_c} E_s = \varphi f_c \frac{E_s}{E_c} = \varphi f_c n \quad (2.73)$$

$$\varphi = \varepsilon_{cr} / \varepsilon_{ce}, \text{ sehingga } \varepsilon_{ce} = \varphi f_c / E_c$$

$$\begin{aligned} \text{Dimana: } \varphi &= \text{koefisien rangkak} \\ \varepsilon_{cr} &= \text{regangan akibat rangkak} \\ \varepsilon_{ce} &= \text{regangan elastis} \\ E_c &= \text{modulus elastisitas beton} \\ E_s &= \text{modulus elastisitas baja prategang} \\ f_c &= \text{tegangan pada beton} \\ n &= \text{angka rasio modular} \end{aligned}$$

### 2.6.5.5 Kehilangan Prategang Akibat Penyusutan Beton

Besarnya susut beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, meliputi proporsi campuran, tipe agregat, tipe semen, tipe perawatan, waktu antara akhir perawatan eksternal dan pemberian pratekan, ukuran komponen struktur dan kondisi lingkungan. Besarnya kehilangan pratekan akibat susut pada beton dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\Delta f_{SH} = 8,2 \times 10^{-6} \left( 1 - 0,06 \frac{V}{S} \right) (100 - RH) K_{sh} E_s \quad (2.74)$$

Dimana:  $\Delta f_{SH}$  = kehilangan tegangan pada tendon akibat penyusutan beton

$V$  = volume beton dari komponen struktur beton prategang

$S$  = luas permukaan dari komponen struktur beton prategang

$RH$  = kelembapan udara relatif

$E_s$  = modulus elastisitas baja prategang

$K_{sh}$  = koefisien penyusutan, harganya ditentukan terhadap waktu antara akhir pengecoran dan saat pemberian gaya prategang

#### 2.6.5.6 Kehilangan Prategang Akibat Relaksasi Baja Prategang

Relaksasi baja prategang terjadi pada baja prategang dengan perpanjangan tetap selama suatu periode yang mengalami pengurangan gaya prategang. Pengurangan gaya prategang ini akan tergantung pada lamanya waktu berjalan dan rasio antara prategang awal ( $f_{pi}$ ) dan prategang akhir ( $f_{py}$ ). Besarnya kehilangan tegangan pada baja prategang akibat relaksasi baja prategang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta f_{CE} = C[K_{re} - J(\Delta f_{SH} + \Delta f_{CR} + \Delta f_{SE})] \quad (2.75)$$

Dimana:  $\Delta f_{CE}$  = kehilangan tegangan akibat relaksasi baja prategang

$C$  = faktor relaksasi yang besarnya tergantung pada jenis kawat/baja prategang

$K_{re}$  = koefisien relaksasi, harganya berkisar 41-138 N/mm<sup>2</sup>

$J$  = faktor waktu, harganya berkisar antara 0,05-0,15

$\Delta f_{SH}$  = kehilangan tegangan akibat penyusutan beton

$\Delta f_{CR}$  = kehilangan tegangan akibat rangkai (*creep*) beton

$\Delta f_{SE}$  = kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis

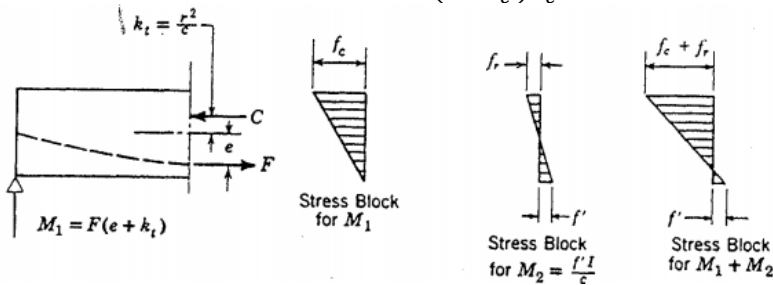
#### 2.6.6 Momen Retak pada Beton Pratekan

Momen Retak ( $M_{CR}$ ) pada struktur beton pratekan dihitung berdasarkan teori elastik. Retak terjadi apabila serat terluar beton mencapai modulus keruntuhannya. Nilai modulus keruntuhan  $f_r$  pada peraturan ACI adalah  $0,62\sqrt{f_c'}$  dengan satuan untuk  $f_r$  dan  $f_c'$  dalam MPa.  $f_r$  dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$f_r = -\frac{F}{A} - \frac{Fec}{I} + \frac{M_c}{I} \quad (2.76)$$

Sehingga perumusaan momen retak dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_{cr} = M_1 + M_2 = F \left( e + \frac{r^2}{c} \right) \frac{f_r I}{c} \quad (2.77)$$



Gambar 2.21 Skematik Diagram Momen Retak (Lin dan Burns, 2000)

Dimana:  $F$  = gaya pratekan efektif setelah kehilangan  
 $I$  = inersia balok  
 $e$  = eksentrisitas dari garis netral beton pratekan (c.g.c.) ke tendon baja (c.g.s.)  
 $A$  = luas penampang balok  
 $f_r$  = modulus keruntuhan

### 2.6.7 Momen Nominal pada Beton Pratekan

Kontrol penampang dilakukan untuk mengetahui kekuatan batas penampang rencana apakah mampu menahan momen ultimate yang terjadi. Nilai momen nominal yang terjadi bergantung desain penampang apakah menggunakan tulangan lunak terpasang atau tidak. Selain itu juga bergantung pada jenis penampang balok. Adapun rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung momen nominal yaitu:

$$M_n = T \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.78)$$

$$a = \frac{T}{0,85f_c' b_w} \quad (2.79)$$

$$T = A_{ps} f_{ps} \quad (2.80)$$

$$A_{ps} = b_w d \rho_p \quad (2.81)$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left( 1 - 0,5 \rho_p \frac{f_{pu}}{f_c'} \right) \quad (2.82)$$

Dimana:  $M_n$  = momen nominal  
 $T$  = gaya tarik  
 $A_{ps}$  = luas tulangan pratekan dalam arah gaya tarik  
 $f_{ps}$  = tegangan tulangan pratekan disaat mencapai kuat nominalnya  
 $f_r$  = modulus keruntuhan  
 $d$  = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan prategang  
 $a$  = tinggi blok tekan persegi ekuivalen

## 2.6.8 Geser Nominal pada Beton Pratekan

Beton yang menerima gaya geser, harus ditulangi menggunakan tulangan segeser dan harus memenuhi persamaan 2.33 dimana  $V_n$  merupakan geser nominal yang dapat dihitung dengan persamaan 2.34. Kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton prategang,  $V_c$ , ditulis dengan persamaan:

$$V_c = \left( 0,05 \lambda \sqrt{f_c'} + 4,8 \frac{V_u d_p}{M_u} \right) b_w d \quad (2.83)$$

sedangkan nilai  $V_s$  adalah kekuatan geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser. Untuk komponen struktur prategang dengan gaya prategang efektif tidak kurang dari 40 persen kekuatan tarik tulangan lentur,  $A_{v,min}$  tidak boleh kurang dari nilai yang lebih kecil dari Persamaan (2.37) dan (2.84).

$$A_{v,min} = \frac{A_{ps} f_{pu} s}{80 f_{yt} d} \sqrt{\frac{d}{b_w}} \quad (2.84)$$

### 2.6.9 Lendutan pada Beton Pratekan

Kemampuan layan struktur beton pratekan ditinjau dari perilaku defleksi komponen tersebut. Elemen beton pratekan memiliki dimensi yang lebih langsing dibanding beton bertulang biasa sehingga kontrol lendutan sangat diperlukan untuk memenuhi batas layan yang diisyaratkan.

1) Lendutan ke atas (*camber*) akibat tekanan tendon

$$\Delta l_{po} = \frac{F_o \cdot e \cdot l^2}{8 \cdot E_c \cdot I} \quad (2.85)$$

Dimana:  $\Delta l_{po}$  = lendutan ke atas  
 $F_o$  = gaya pratekan awal  
 $E_c$  = modulus elastisitas beton  
 $I$  = momen inersia penampang  
 $e$  = eksentrisitas dari garis netral beton pratekan (c.g.c.) ke tendon baja (c.g.s.)  
 $l$  = panjang beton pratekan

2) Lendutan ke bawah akibat beban merata dan beban terusat

$$\Delta = \frac{5qL^4}{384EI} \quad (2.86)$$

$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI} \quad (2.87)$$

## 2.7 Pondasi

Pondasi merupakan komponen struktur bangunan yang terbawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah yang diterima dari kolom. Struktur pondasi sangat penting mengingat sebagai struktur terbawah dalam menahan beban struktur diatasnya

### 2.7.1 Pemilihan Bentuk pondasi

Ada berbagai bentuk pondasi yang dapat dipakai untuk perencanaan bangunan. Untuk memilih pondasi yang memadai,

perlu diperhatikan apakah pondasi itu cocok untuk berbagai keadaan di lapangan dan apakah pondasi itu memungkinkan untuk diselesaikan secara ekonomis sesuai dengan jadwal kerjanya. Bila keadaan tersebut ikut dipertimbangkan dalam menentukan macam pondasi, hal-hal ini perlu dipertimbangkan.

- 1) Keadaan tanah pondasi
- 2) Batasan-batasan akibat konstruksi di atasnya
- 3) Batasan-batasan dari sekelilingnya
- 4) Waktu dan biaya pekerjaan

Berikut ini adalah jenis-jenis pondasi yang sesuai dengan keadaan tanah pondasi yang bersangkutan (Nakazawa, 2000).

- a) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada permukaan tanah atau 2-3 meter di bawah permukaan tanah, dalam hal ini pondasinya adalah pondasi telapak
- b) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 10 meter di bawah permukaan tanah, dalam hal ini, dipakai pondasi tiang atau pondasi tiang apung (*floating pile foundation*) untuk memperbaiki tanah pondasi. Jika memakai tiang, maka tiang baja atau tiang beton yang dicor di tempat (*cast in place*) kurang ekonomis, karena tiang-tiang tersebut kurang panjang.
- c) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 20 meter di bawah permukaan tanah, dalam hal ini, tergantung dari permukaan (*settlement*) yang diizinkan, dapat dipakai pondasi kaisan terbuka, kaisan tekanan, tiang beton bertulang, tiang baja, dan tiang yang dicor di tempat. Apabila tidak boleh terjadi penurunan, biasanya digunakan pondasi tiang pancang (*pile driven foundation*). Tetapi bila terdapat batu besar (*cobble stones*) pada lapisan antara, pemakaian kaisan lebih menguntungkan.
- d) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 30 meter di bawah permukaan tanah, biasanya dipakai kaisan terbuka, tiang baja atau tiang yang dicor di tempat. Tetapi apabila tekanan atmosfer yang bekerja ternyata kurang dari  $3\text{kg/cm}^2$  digunakan juga kaisan tekanan.



- e) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman lebih dari 40 meter di bawah permukaan tanah, dalam hal ini, yang paling baik adalah tiang baja dan tiang beton yang dicor di tempat.

Untuk pondasi tiang, jika beban yang dipikul sangat besar, maka biasanya suatu pondasi merupakan kelompok yang terdiri lebih dari satu tiang. Kelompok tiang ini secara bersama-sama memikul beban tersebut. Jarak antar tiang yang diambil minimal  $1,5D$  dan maksimal  $3,5D$  dimana  $D$  adalah diameter tiang (Sunggono, 1995).

### 2.7.2 Daya Dukung Ijin Tiang

Daya dukung tiang pada tanah pondasi umumnya diperoleh dari jumlah daya dukung terpusat tiang dan tahanan geser pada dinding tiang. Besarnya daya dukung yang diizinkan  $R_a$  diperoleh dari persamaan sebagai berikut:

$$R_a = \frac{1}{n} R_u = \frac{1}{n} (R_p + R_f) \quad (2.88)$$

Dimana:  $R_a$  = daya dukung ijin tiang (ton)  
 $R_u$  = daya dukung batas pada tanah pondasi (ton)  
 $R_p$  = daya dukung terpusat tiang (ton)  
 $R_f$  = gaya geser dinding tiang (ton)  
 $n$  = faktor keamanan

Tabel 2.9 Faktor Keamanan

	Jembatan jalan raya		Jembatan kereta api	Konstruksi pelabuhan	
	Tiang pendukung	Tiang geser	-	Tiang pendukung	Tiang geser
Beban tetap	3	4	3	Lebih besar dari 2,5	
Beban tetap + beban sementara	-	-	2	-	
Waktu	2	3	1,5 (1,2)	Lebih	Lebih

gempa				besar dari 1,5	besar dari 2,0
-------	--	--	--	-------------------	-------------------

Angka dalam tanda kurung: bila beban kereta api diperhitungkan

Daya dukung terpusat tiang,  $R_p$  dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_p = q_d A \quad (2.89)$$

Dimana:  $q_d$  = daya dukung ujung tiang (ton/m<sup>2</sup>)

$A$  = luas ujung tiang (m<sup>2</sup>)

Sedangkan gaya geser tiang,  $R_f$  dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_f = U \sum l_i f_i \quad (2.90)$$

Dimana:  $U$  = panjang keliling tiang (m)

$l_i$  = tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang

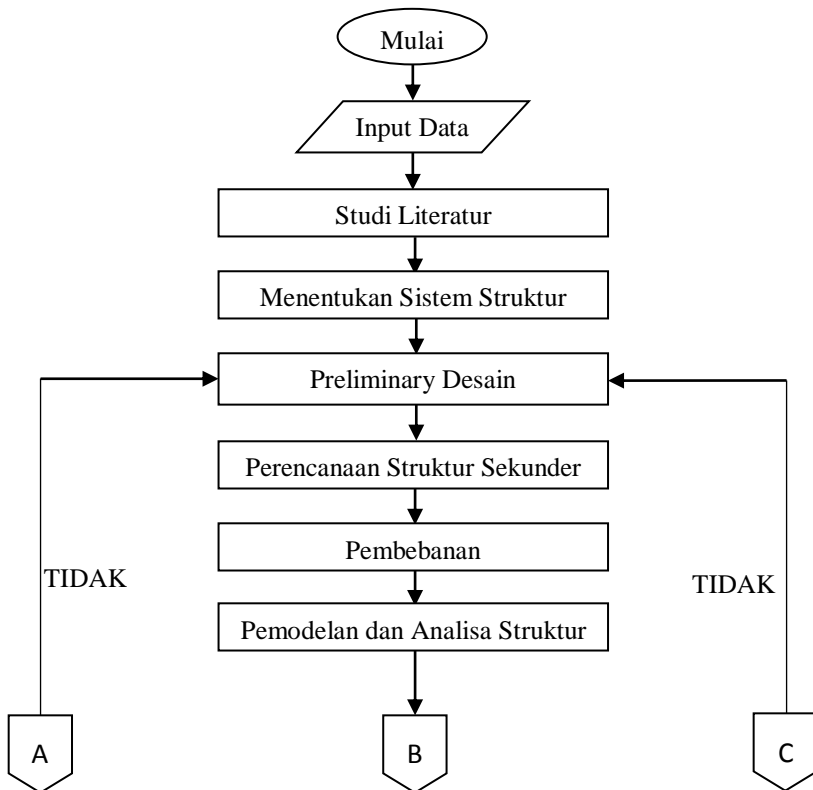
$f_i$  = besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (ton/m<sup>2</sup>)

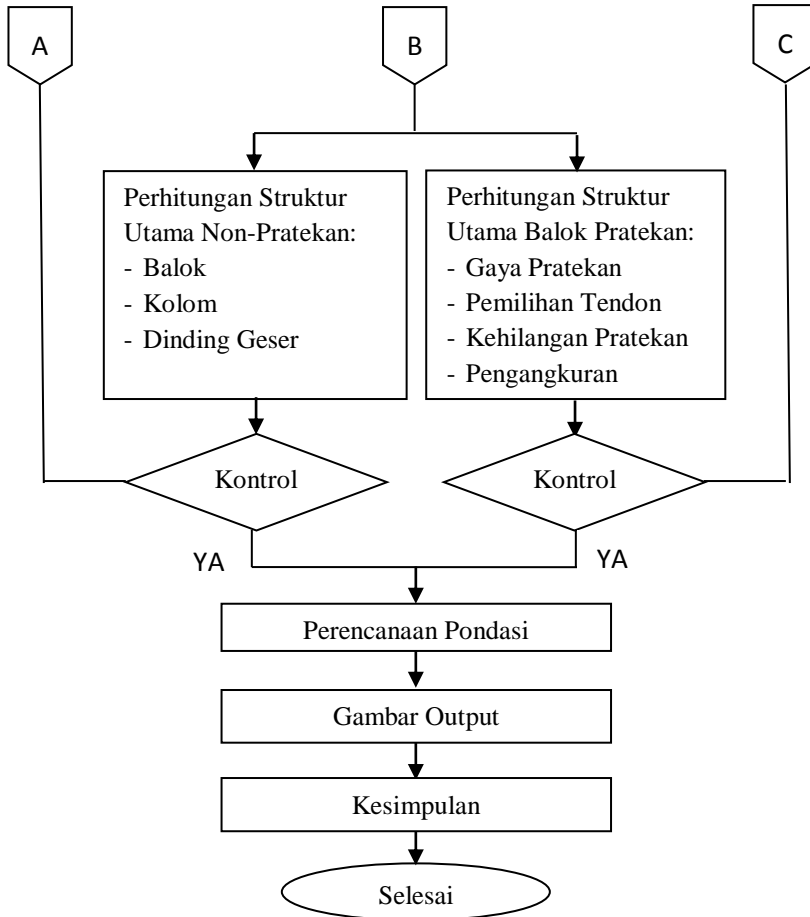
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir

Berikut ini adalah bagan alir dalam perencanaan “Modifikasi Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A Bekasi dengan Menggunakan Sistem Ganda dan Balok Pratekan pada Lantai 18”.





### 3.2 Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan dalam perencanaan tugas akhir ini adalah:

1. Data-data tanah
2. Gambar arsitektur
3. Gambar struktur

data tanah dan data gambar dapat dilihat pada lampiran.

### 3.3 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan dengan menggunakan beberapa buku pustaka atau peraturan mengenai perencanaan struktur gedung secara umum dan perencanaan beton pratekan yang akan membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini. Peraturan yang dipakai diantaranya:

- 1) SNI 2847-2013 Persyaratn Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
- 2) SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
- 3) SNI 1727-2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain
- 4) Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG) 1983

### 3.4 Menentukan Sistem Struktur

Sistem struktur yang digunakan harus berdasarkan pada Kategori Desain Seismik (KDS). Penentuan KDS dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.1 dan 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.1 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek

Nilai $S_{DS}$	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D

$0,50 \leq S_{DS}$	D	D
--------------------	---	---

Tabel 3.2 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai $S_{DS}$	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Untuk menentukan kategori resiko dapat dilihat pada Tabel 2.3. Sedangkan langkah-langkah dalam menentukan parameter respons percepatan pada periode pendek,  $S_{DS}$ , dan periode 1 detik,  $S_{D1}$ , adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan klasifikasi situs pada Tabel 2.5
- 2) Menentukan parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek,  $S_S$  pada Gambar 2.1 dan periode 1 detik,  $S_1$  pada Gambar 2.2 pada wilayah bekasi
- 3) Menentukan koefisien situs pada,  $F_a$ , pada Tabel 2.6 dan koefisien situs  $F_v$ , pada Tabel 2.7
- 4) Menghitung parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek,  $S_{MS}$ , pada persamaan 2.11 dan periode 1 detik,  $S_{M1}$ , pada persamaan 2.12
- 5) Menghitung parameter respons percepatan pada periode pendek,  $S_{DS}$ , pada persamaan 2.9 dan periode 1 detik,  $S_{D1}$  pada persamaan 2.10

Setelah mendapatkan Kategori Desain Seismik (KDS), dapat ditentukan sistem struktur berdasarkan SNI 1726-2012 tabel 9. Untuk Sistem Ganda yang masuk kategori desain seismik D, rangka utama harus direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser harus

direncanakan menggunakan Dinding Struktur Beton Khusus (DSBK). Persyaratan-persyaratan harus memenuhi subbab 2.5.

### **3.5 Perencanaan Dimensi Struktur (Preliminary Design)**

Preliminary Design adalah tahapan untuk memperkirakan perencanaan dimensi struktur. Struktur yang direncanakan dimensinya adalah struktur utama non pratekan (balok, kolom), struktur utama pratekan (balok pratekan), dan struktur sekunder (balok anak, pelat lantai, pelat tangga, pelat atap).

#### **3.5.1 Metodologi Perencanaan Tebal Pelat**

Langkah-langkah dalam menentukan tebal minimum pelat adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan apakah pelat termasuk pelat 1 arah atau pelat 2 arah
- 2) Apabila termasuk pelat 1 arah, maka tebal minimum pelat dapat dilihat pada Tabel 2.1
- 3) Apabila termasuk pelat 2 arah, maka tebal minimum pelat dapat dilihat pada Tabel 2.2. untuk pelat dengan balok yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya,  $h$ , harus memenuhi 2.2.1.1 poin 4).

#### **3.5.2 Metodologi Perencanaan Dimensi Balok**

Langkah-langkah dalam menentukan dimensi balok adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan tebal balok,  $h$ , menggunakan persamaan 2.3 untuk balok induk, dan persamaan 2.4 untuk balok anak
- 2) Menentukan lebar balok,  $b$ , menggunakan persamaan 2.5

#### **3.5.3 Metodologi Perencanaan Dimensi Balok Pratekan**

Langkah-langkah dalam menentukan dimensi balok pratekan adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan tebal balok,  $h$ , menggunakan persamaan 2.6
- 2) Menentukan lebar balok,  $b$ , menggunakan persamaan 2.7



### 3.5.4 Metodologi Perencanaan Dimensi Kolom

Langkah-langkah dalam menentukan dimensi kolom adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan luasan penampang kolom menggunakan persamaan 2.8
- 2) Menentukan lebar balok,  $b$ , dan tebal kolom,  $h$ , dari luasan penampang yang telah diketahui

### 3.5.5 Metodologi Perencanaan Tebal Dinding Geser

Untuk menentukan tebal dinding geser, dapat dilihat pada subbab 2.2.5

## 3.6 Perencanaan Struktur Sekunder

### 3.6.1 Penulangan Pelat

Penulangan pelat dalam hal ini termasuk pelat lantai, pelat atap, pelat kantilever, dan pelat bordes. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam perhitungan penulangan utama pelat:

- 1) Menentukan data perencanaan awal yang meliputi mutu beton,  $f'_c$ , dan mutu baja tulangan,  $f_y$ , dan dimensi pelat yang akan dihitung.
- 2) Menghitung pembebanan pada pelat. Pembebanan terdiri dari beban mati dan beban hidup. Kemudian dikombinasikan berdasarkan persamaan 2.21 dan 2.22.
- 3) Menentukan apakah pelat termasuk satu arah atau dua arah
- 4) Menghitung momen-momen pada pelat berdasarkan Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971).
- 5) Menghitung momen ultimate,  $M_u$
- 6) Menghitung rasio tulangan,  $\rho$ , dan rasio tulangan minimum,  $\rho_{min}$ . Apabila  $\rho$  kurang dari  $\rho_{min}$ , maka rasio tulaangan bisa ditingkatkan sebesar 30 persen (SNI 2847-2013 pasal 10.5.3).
- 7) Menghitung luas tulangan yang diperlukan,  $A_{s,pertu} = \rho b d$
- 8) Merencanakan kebutuhan tulangan tarik dan menghiung luas tulangan yang dipakai,  $A_{s,pakai}$ , luas tulangan yang dipakai harus lebih besar dari luas tulangan yang diperlukan

- 9) Kontrol jarak spasi antar tulangan,  $s \geq 25mm$
- 10) Kontrol kemampuan kapasitas beton,  $\phi M_n \geq M_u$

### 3.6.2 Penulangan Balok Anak

Penulangan balok anak dalam hal ini termasuk juga pada balok kantilever, balok lift, dan balok bordes. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam perhitungan penulangan balok anak:

- a) Penulangan lentur balok anak
  - 1) Menentukan data perencanaan awal yang meliputi mutu beton,  $f_c'$ , dan mutu baja tulangan,  $f_y$ , dan dimensi balok anak yang akan dihitung.
  - 2) Menghitung pembebanan pada balok anak. Pembebanan terdiri dari beban mati dan beban hidup. Kemudian dikombinasikan berdasarkan persamaan 2.21 dan 2.22. begitu juga dengan pembebanan pada balok kantilever, balok lift, dan balok bordes.
  - 3) Menghitung momen ultimate,  $M_u$
  - 4) Menghitung rasio tulangan,  $\rho$ , dan rasio tulangan minimum,  $\rho_{min}$ . Apabila  $\rho$  kurang dari  $\rho_{min}$ , maka rasio tulangan bisa ditingkatkan sebesar 30 persen (SNI 2847-2013 pasal 10.5.3).
  - 5) Menghitung luas tulangan tarik yang diperlukan,  $A_{s,pertu} = \rho b d$
  - 6) Merencanakan kebutuhan tulangan tarik dan menghitung luas tulangan yang dipakai,  $A_{s,pakai}$ , luas tulangan yang dipakai harus lebih besar dari luas tulangan yang diperlukan
  - 7) Kontrol jarak spasi antar tulangan,  $s \geq 25mm$
  - 8) Kontrol kemampuan kapasitas beton,  $\phi M_n \geq M_u$
  - 9) Menghitung kebutuhan tulangan tekan menggunakan luas tulangan minimum,  $A_{s,min}$
- b) Penulangan geser balok anak
  - 1) Menentukan data perencanaan awal yang meliputi mutu beton,  $f_c'$ , dan mutu baja tulangan,  $f_y$ , dan dimensi balok anak yang akan dihitung.

- 2) Menghitung pembebanan pada balok anak. Pembebanan terdiri dari beban mati dan beban hidup. Kemudian dikombinasikan berdasarkan persamaan 2.21 dan 2.22. begitu juga dengan pembebanan pada balok kantilever, balok lift, dan balok bordes.
- 3) Menghitung geser ultimate,  $V_u$
- 4) Di cek apakah perlu tulangan geser atau hanya memerlukan tulangan geser minimum dengan melihat kondisi pada  $\phi V_n \geq V_u$  dimana  $V_n = V_c + V_s$
- 5) Menghitung kebutuhan tulangan geser,  $A_{v,perlu}$
- 6) Merencanakan kebutuhan tulangan geser dan menghitung tulangan geser pakai,  $A_{v,pakai}$

### 3.6.3 Penulangan Tangga

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam perhitungan penulangan utama tangga:

- 1) Menentukan data perencanaan awal yang meliputi mutu beton,  $f'_c$ , dan mutu baja tulangan,  $f_y$ , dan tebal pelat tangga yang akan dihitung.
- 2) Menentukan dimensi lebar injakan, tinggi tanjakan, jumlah anak tangga, dan sudut tangga.
- 3) Kontrol lebar injakan dan tinggi tanjakan dengan  $60 \leq (2t + i) \leq 65$
- 4) Kontrol sudut tangga dengan  $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$
- 5) Menghitung pembebanan pada tangga. Pembebanan terdiri dari beban mati dan beban hidup. Kemudian dikombinasikan berdasarkan persamaan 2.21 dan 2.22.
- 6) Menghitung momen ultimate,  $M_u$ , pada tangga
- 7) Menghitung rasio tulangan,  $\rho$ , dan rasio tulangan minimum,  $\rho_{min}$ . Apabila  $\rho$  kurang dari  $\rho_{min}$ , maka rasio tulaangan bisa ditingkatkan sebesar 30 persen (SNI 2847-2013 pasal 10.5.3).
- 8) Menghitung luas tulangan tarik yang diperlukan,  $A_{s,perlu} = \rho b d$

- 9) Merencanakan kebutuhan tulangan tarik dan menghiung luas tulangan yang dipakai,  $A_{s,pakai}$ , luas tulangan yang dipakai harus lebih besar dari luas tulangan yang diperlukan
- 10) Kontrol jarak spasi antar tulangan,  $s \geq 25mm$
- 11) Kotrol kemampuan kapasitas beton,  $\phi M_n \geq M_u$

### 3.7 Pembebanan

#### 3.7.1 Pembebanan pada Struktur

Perhitungan beban-beban yang bekerja pada bangunan disesuaikan dengan peraturan pembebanan yang berlaku. Berikut ini adalah analisa pembebanan:

##### 1) Beban pada pelat lantai

Pelat lantai dibebani oleh beban mati dan beban hidup. Yang termasuk beban mati pada pelat adalah berat sendiri pelat, beban keramik, beban spesi, beban aspal, beban instalasi listrik, beban plambing. Untuk beban hidup dengan fungsi bangunan gedung apartemen, beban hidup diambil pada peraturan pembebanan SNI 1727-2013.

##### 2) Beban pada pelat tangga dan pelat bordes

Pelat tangga dan pelat bordes dibebani oleh beban mati dan beban hidup. Yang termasuk beban mati pada pelat tangga adalah berat sendiri pelat tangga, beban keramik, beban spesi, beban anak tangga. Sedangkan untuk beban mati pada pelat bordes adalah berat sendiri pelat bordes, beban keramik, beban spesi.

##### 3) Beban pada balok

Balok terbagi menjadi balok non pratekan dan balok pratekan. Balok dibebani oleh beban mati dan penyaluran beban akibat pelat. Yang termasuk beban mati pada balok adalah berat sendiri balok dan beban dinding. Selain itu adalah beban ekivalen akibat penyaluran beban dari pelat. Khusus untuk balok induk, direncanakan dapat menerima beban gempa

##### 4) Beban pada dinding geser

Dinding geser dapat menerima beban lateral yaitu beban angin dan beban gempa. Dinding geser menerima beban gempa

maksimal 75% dan sisanya dipikul oleh rangka utama sesuai dengan persyaratan sistem ganda.

#### 5) Beban pada kolom

Kolom dapat dibebani oleh beban angin, beban gempa, dan penyaluran beban akibat balok. Beban angin membebani secara merata pada kolom. Sedangkan beban gempa membebani joint-joint kolom. Beban gempa yang dimasukkan adalah beban gempa respons dinamik. Selain itu kolom mendapat penyaluran beban dari balok menjadi beban aksial kolom.

### 3.7.2 Langkah-langkah Perhitungan Beban Gempa

#### Respons Dinamik

Langkah-langkah dalam menghitung beban gempa menggunakan respons dinamik adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan klasifikasi situs pada Tabel 2.5
- 2) Menentukan parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda pendek,  $S_S$  pada Gambar 2.1 dan perioda 1 detik,  $S_1$  pada Gambar 2.2 pada wilayah bekasi
- 3) Menentukan koefisien situs pada,  $F_a$ , pada Tabel 2.6 dan koefisien situs  $F_v$ , pada Tabel 2.7
- 4) Menghitung parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek,  $S_{MS}$ , pada persamaan 2.11 dan perioda 1 detik,  $S_{M1}$ , pada persamaan 2.12
- 5) Menghitung parameter respons percepatan pada perioda pendek,  $S_{DS}$ , pada persamaan 2.9 dan perioda 1 detik,  $S_{D1}$  pada persamaan 2.10
- 6) Membuat grafik respons spektrum berdasarkan subbab 2.3.4.4, kemudian diinput ke SAP 2000 sebagai beban gempa dinamik

### 3.8 Pemodelan dan Analisis Struktur

#### 3.8.1 Permodelan Struktur

Permodelan struktur adalah memodelkan bentuk struktur bangunan dengan tujuan untuk mengetahui gaya-gaya dalam yang terjadi. Permodelan struktur dapat dibuat dengan bantuan program SAP 2000. Permodelan struktur yang sudah dibuat dibebani oleh beban sesuai dengan subbab 3.6. Struktur

bangunan yang sudah dibebani kemudian dibuat kombinasi pembebanan sesuai persamaan 2.21 sampai 2.27

### **3.8.2 Analisa struktur**

Analisis gaya dalam dilakukan setelah memodelkan struktur dengan alat bantu program SAP 2000 dan telah dibebani. Hasil output SAP kemudian dikoreksi apakah memenuhi persyaratan sistem ganda. Persyaratan sistem ganda adalah rangka utama harus menerima beban gempa minimal 25 persen dan sisanya dipikul oleh dinding geser. Beban gempa yang direncanakan adalah respons dinamik sehingga harus dicek terhadap gaya geser dan simpangan.

## **3.9 Perhitungan Struktur Utama Non-Pratekan**

Perhitungan penulangan struktur utama non-pratekan diantaranya balok induk, kolom, dinding geser. Komponen struktur disdesain penulangannya sesuai peraturan (SNI 2847-2103). Berikut ini adalah perhitungan-perhitungan dalam merencanakan penulangan struktur bangunan (Tavio dan Kusuma, 2009):

### **3.9.1 Penulangan Balok Induk**

Pada perhitungan penulangan balok induk, terdapat penulangan torsi, penulangan lentur, dan penulangan geser. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam perhitungan penulangan balok induk:

#### **a) Penulangan torsi balok induk**

- 1) Mengambil gaya-gaya dalam torsi dari SAP 2000 berdasarkan balok induk yang dipilih untuk perhitungan
- 2) Menghitung apakah pengaruh puntir diabaikan atau tidak berdasarkan persamaan 2.39. Apabila tulangan torsi harus dihitung, maka tulangan dihitung dan dibagi menjadi tulangan torsi murni, tulangan torsi yang disumbangkan ke tulangan lentur, dan tulangan torsi yang disumbangkan ke tulangan geser.

- 3) Menghitung kebutuhan tulangan torsi longitudinal,  $A_l$ , berdasarkan persamaan 2.42
- 4) Untuk tulangan torsi murni,  $A_l$  dikalikan 0,5 karena dibagi ke sisi kanan dan kiri penampang balok
- 5) Untuk tulangan torsi yang disalurkan ke tulangan lentur,  $A_l$  dikalikan 0,5 karena dibagi ke sisi atas dan bawah penampang balok
- 6) Menghitung tulangan torsi yang disalurkan ke tulangan geser,  $A_t$ , berdasarkan persamaan 2.41
- 7) Merencanakan tulangan torsi pakai,  $A_{l,pakai}$  dan harus lebih besar dari  $0,5A_{l,pertu}$
- b) Penulangan lentur balok induk
  - 1) Mengambil gaya-gaya dalam momen dari SAP 2000 berdasarkan balok induk yang dipilih untuk perhitungan. Perhitungan penulangan lentur dibagi menjadi penulangan lentur daerah lapangan dan daerah tumpuan.
  - 2) Menghitung rasio tulangan,  $\rho$ , dan rasio tulangan minimum,  $\rho_{min}$ . Apabila  $\rho$  kurang dari  $\rho_{min}$ , maka rasio tulaangan bisa ditingkatkan sebesar 30 persen (SNI 2847-2013 pasal 10.5.3).
  - 3) Menghitung luas tulangan tarik yang diperlukan,  $A_s = \rho b d$
  - 4) Kebutuhan tulangan tarik,  $A_s$ , ditambahkan dengan  $1/4 A_l$  karena ada panambahan dari luas tulangan akibat torsi, sehingga  $A_{s,pertu} = A_s + 1/4 A_l$
  - 5) Merencanakan kebutuhan tulangan tarik dan menghiung luas tulangan yang dipakai,  $A_{s,pakai}$ , luas tulangan yang dipakai harus lebih besar dari luas tulangan yang diperlukan
  - 6) Kontrol jarak spasi antar tulangan,  $s \geq 25mm$
  - 7) Kotrol kemampuan kapasitas beton,  $\phi M_n \geq M_u$
  - 8) Hitung kebutuhan tulangan tekan berdasarkan syarat SRPMK yaitu  $A_s' = 0,5A_s$
  - 9) Kontrol syarat-syarat SRPMK berdasarkan subbab 2.5.1
- c) Penulangan geser balok induk

- 1) Mengambil gaya-gaya dalam geser dari SAP 2000 berdasarkan balok induk yang dipilih untuk perhitungan. Perhitungan penulangan geser dibagi menjadi penulangan geser daerah lapangan dan daerah tumpuan.
- 2) Menghitung geser ultimate,  $V_e$ , berdasarkan Gambar 2.8
- 3) Di cek apakah  $V_c = 0$  berdasarkan subbab 3.5.1.1 poin 3.b)
- 4) Di cek kebutuhan tulangan geser dengan melihat kondisi pada  $\phi V_n \geq V_u$  dimana  $V_n = V_c + V_s$  apabila  $V_c \neq 0$  dan  $V_n = V_s$  apabila  $V_c = 0$
- 5) Menghitung kebutuhan tulangan geser,  $A_{v,perlu}$
- 6) Kebutuhan tulangan geser ditambahkan dengan kebutuhan tulangan torsi yang disumbangkan ke tulangan geser sehingga  $A_{v,perlu} = A_v + 2A_t$  dan tidak kurang dari  $0,062\sqrt{f_c'}b_ws/f_{yt}$  dan  $0,35b_ws/f_{yt}$
- 7) Merencanakan kebutuhan tulangan geser dan menghitung tulangan geser pakai,  $A_{v,pakai}$
- 8) Kontrol syarat-syarat SRPMK berdasarkan subbab 2.5.1

### 3.9.2 Penulangan Kolom

Pada perhitungan penulangan kolom, terdapat penulangan utama, dan penulangan geser. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam perhitungan penulangan kolom:

- a) Penulangan utama kolom
  - 1) Mengambil gaya-gaya dalam momen dari SAP 2000 berdasarkan kolom yang dipilih untuk perhitungan.
  - 2) Merencanakan kebutuhan tulangan dan mengecek momen kapasitas dengan bantuan SpColumn
  - 3) Mengecek strong column weak beam
- b) Penulangan geser kolom
  - 1) Mengambil gaya-gaya dalam geser dari SAP 2000 berdasarkan kolom yang dipilih untuk perhitungan. Perhitungan penulangan geser dibagi menjadi penulangan geser daerah lapangan dan daerah tumpuan.
  - 2) Menghitung geser ultimate,  $V_e$ , berdasarkan Gambar 2.8
  - 3) Di cek apakah  $V_c = 0$  berdasarkan subbab 2.5.1.1 poin 3.b)



- 4) Di cek kebutuhan tulangan geser dengan melihat kondisi pada  $\phi V_n \geq V_u$  dimana  $V_n = V_c + V_s$  apabila  $V_c \neq 0$  dan  $V_n = V_s$  apabila  $V_c = 0$
- 5) Menghitung kebutuhan tulangan geser,  $A_{v,perlu}$
- 6) Merencanakan kebutuhan tulangan geser dan menghitung tulangan geser pakai,  $A_{v,pakai}$
- 7) Kontrol syarat-syarat SRPMK berdasarkan subbab 2.5.1

### 3.9.3 Penulangan Dinding Geser

Pada perhitungan penulangan dinding geser, terdapat penulangan horizontal dan penulangan vertikal. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam perhitungan penulangan dinding geser:

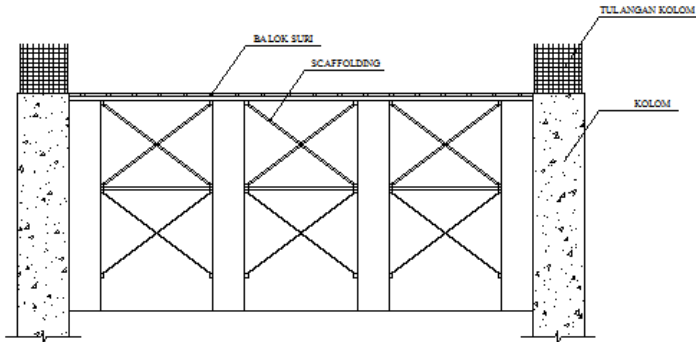
- a) Penulangan horizontal dinding geser
  - 1) Mengambil gaya-gaya dalam geser dari SAP 2000 berdasarkan dinding geser yang dipilih untuk perhitungan.
  - 2) Merencanakan tulangan horizontal dinding geser
  - 3) Menghitung kuat geser nominal,  $V_n$ , menggunakan persamaan 2.62
  - 4) Cek kapasitas dinding geser dengan  $\phi V_n \geq V_u$
  - 5) Kontrol syarat-syarat DSBK berdasarkan subbab 2.5.2
- b) Penulangan vertikal dinding geser
  - 1) Mengambil gaya-gaya dalam aksial dan momen dari SAP 2000 berdasarkan dinding geser yang dipilih untuk perhitungan.
  - 2) Merencanakan tulangan vertikal dinding geser
  - 3) Cek momen kapasitas,  $\phi M_n \geq M_u$ , dengan menggunakan bantuan SpColumn
  - 4) Kontrol syarat-syarat DSBK berdasarkan subbab 2.5.2

## 3.10 Perhitungan Struktur Utama Balok Pratekan

### 3.10.1 Metode Pelaksanaan Balok Pratekan

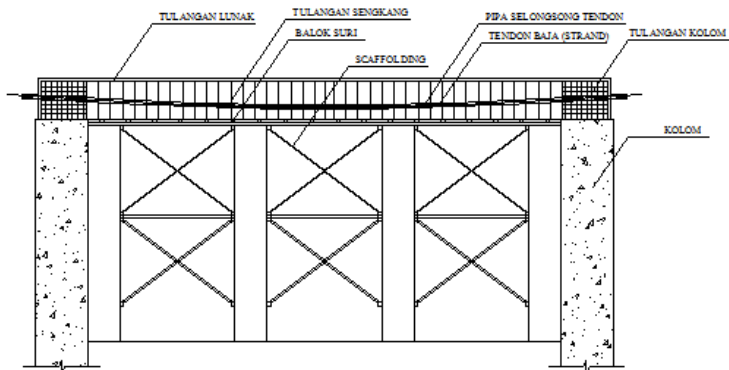
Pada tugas akhir ini metode pelaksanaan pembuatan balok pratekan menggunakan sistem pasca tarik (*post-tensioned*). Beton pratekan dibuat dengan cor di tempat. Metode pelaksanaan dari sistem pasca tarik adalah sebagai berikut:

- 1) Setelah kolom dicor, kemudian dipasang scaffolding dipasang dengan balok-balok suri sebagai penumpu bekisting balok pratekan.



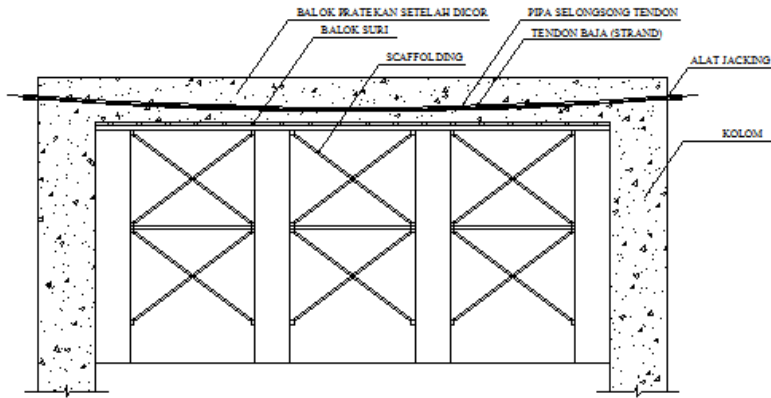
Gambar 3.1 Pemasangan Scaffolding dan Balok-balok Suri

- 2) Membuat bekisting balok pratekan sesuai dengan rencana letak komponen struktur.
- 3) Tulangan balok pratekan dan pipa selongsong tendon dipasang sesuai perencanaan.
- 4) Masukkan tendon baja (*strand*) ke dalam pipa selongsong dan pasang anchor tendonnya



Gambar 3.2 Pemasangan Bekisting, pipa selongsong, dan Tendon

- 5) Beton dicor ke dalam bekisting balok
- 6) Setelah balok mengeras, pasang head anchor kemudian dilanjutkan dengan proses jacking pada kedua ujung tendon yang telah terpasang. Setelah itu potong kelebihan tendon baja.



Gambar 3.3 Proses Jacking Balok Patekan

- 7) Pasang anchor grout cap dan dilanjutkan proses grouting.

### 3.10.2 Perhitungan Balok Patekan.

berikut ini adalah langkah-langkah dalam merencanakan balok pratekan:

- 1) Mengambil gaya-gaya dalam dari SAP 2000 berdasarkan balok pratekan yang dipilih untuk perhitungan.
- 2) Menghitung gaya pratekan awal pada balok pratekan.
- 3) Memilih tendon baja pratekan
- 4) Menghitung kehilangan pratekan berdasarkan subbab 2.6.5
- 5) Mengontrol kuat batas beton pratekan,  $1,2M_{cr} \leq \phi M_u \leq M_n$
- 6) Kontrol kuat geser balok pratekan,  $\phi V_c \geq V_u$  dimana  $V_c$  dihitung menggunakan persamaan 2.82

- 7) Kontrol lendutan pada balok pratekan berdasarkan subbab 2.6.9

### **3.11 Kontrol Persyaratan**

Kontrol persayaratn merupakan mengontrol struktur-struktur yang telah direncanakan penulangannya dan harus memenuhi sistem struktur yang telah ditentukan di awal. Pada tugas akhir ini sistem struktur menggunakan sistem ganda dengan rangka utama menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser menggunakan Dinding Struktur Beton Khusus (DSBK). Elemen struktur harus memenuhi persyaratan pada subbab 2.5.1 dan 2.5.2.

### **3.12 Perencanaan Pondasi**

Setelah menghitung beban struktur atas secara keseluruhan, kemudian beban tersebut diteruskan ke struktur bawah (pondasi). Langkah-langkah yang dikerjakan dalam perencanaan struktur tersebut adalah sebagai berikut.

#### **3.12.1 Analisa Data Tanah**

Data tanah yang didapatkan dalam dalam tugas akhir ini adalah data SPT. Data tanah diolah untuk mengetahui apakah tanah tersebut termasuk ke dalam tanah lunak, tanah sedang, atau tanah keras. Setelah mengetahui kondisi tanah tersebut, dapat dilanjutkan dengan pemilihan pondasi.

#### **3.12.2 Pemilihan Pondasi**

Pemilihan pondasi dapat ditentukan dari berbagai faktor, diantaranya adalah kedalaman dan kondisi lapangan. Untuk lebih detailnya, pemilihan pondai dapat dilihat pada subbab 2.7.1

#### **3.12.3 Perhitungan Daya Dukung Tiang**

Berikut ini adalah langkah-langkah untuk menghitung daya dukung ijin satu tiang apabila menggunakan pondasi tiang pancang:

- 1) Menentukan kedalaman pondasi dan jenis pondsi yang dipilih

- 2) Menghitung daya dukung ujung tiang,  $R_p$ , berdasarkan persamaan 2.88
- 3) Menghitung gaya geser dinding tiang,  $R_f$ , berdasarkan persamaan 2.89
- 4) Menghitung daya dukung batas pada tanah pondasi,  $R_u = R_p + R_f$
- 5) Menghitung daya dukung ijin tiang,  $R_a = 1/n (R_u)$  dimana  $n$  adalah faktor keamanan

### 3.12.4 Perencanaan Konfigurasi Tiang

Perencanaan konfigurasi tiang merupakan penentuan jumlah tiang dan merencanakan sekelompok tiang dalam satu pile cap. Setelah itu menghitung gaya total yang bekerja pada satu pile cap,  $P_{maks} = \frac{V}{n} \pm \frac{M_x y_{maks}}{y^2} \pm \frac{M_y x_{maks}}{x^2}$ . Kemudian dicek terhadap daya dukung ijin tiang dimana  $R_a \geq P_{maks}$

### 3.12.5 Penulangan Pile Cap

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam menghitung penulangan pile cap

- 1) Menghitung gaya-gaya pada pile cap. Gaya-gaya diambil dari daya dukung tiang,  $R_a$ , atau gaya yang bekerja pada satu pile cap,  $R_a$
- 2) Menghitung momen ultimate,  $M_u$
- 3) Menghitung rasio tulangan,  $\rho$ , dan rasio tulangan minimum,  $\rho_{min}$ . Apabila  $\rho$  kurang dari  $\rho_{min}$ , maka rasio tulaangan bisa ditingkatkan sebesar 30 persen (SNI 2847-2013 pasal 10.5.3).
- 4) Menghitung luas tulangan tarik yang diperlukan,  $A_{s,perlu} = \rho b d$
- 5) Merencanakan kebutuhan tulangan tarik dan menghiung luas tulangan yang dipakai,  $A_{s,pakai}$ , luas tulangan yang dipakai harus lebih besar dari luas tulangan yang diperlukan
- 6) Kontrol jarak spasi antar tulangan,  $s \geq 25mm$
- 7) Kotrol kemampuan kapasitas beton,  $\phi M_n \geq M_u$

- 8) Menghitung kebutuhan tulangan tekan menggunakan luas tulangan minimum,  $A_{s,min}$

### 3.13 Gambar Output

Penggambaran dilakukan setelah semua tahap perencanaan gedung selesai. Berikut ini adalah hasil perhitungan struktur yang akan dituangkan ke dalam gambar teknik:

- 1) Gambar denah, tampak, dan potongan
- 2) Gambar struktur atas yang terdiri dari struktur sekunder (balok anak, pelat, tangga), struktur primer non-pratekan (balok induk, kolom, dinding geser), dan struktur primer pratekan (balok pratekan).
- 3) Gambar struktur bawah (pile cap, pondasi tiang)
- 4) Gambar detail penulangan struktur bangunan

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB IV**

### **PEMBAHASAN**

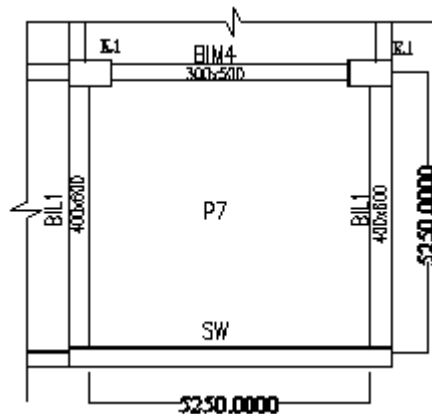
Dalam bab ini, akan dibahas mengenai perhitungan dan perencanaan sesuai dengan judul tugas akhir yang berjudul Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A Bekasi dengan Menggunakan Sistem Ganda dan Balok Pratekan pada Lantai 18.

#### **4.1 Preliminary Desain**

Preliminary desain adalah tahapan yang digunakan untuk merencanakan dimensi awal dari elemen struktur bangunan. Penentuan dimensi mengacu pada peraturan SNI 2847-2013.

##### **4.1.1 Perencanaan Tebal Pelat**

Penentuan tebal pelat minimum mengacu pada SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.2 tabel 9.5(c) dan pasal 9.5.3.3. Untuk perhitungan tebal pelat, pelat yang dipilih adalah pelat dengan luas yang terbesar.



Gambar 4.1 Pelat Tipe 7

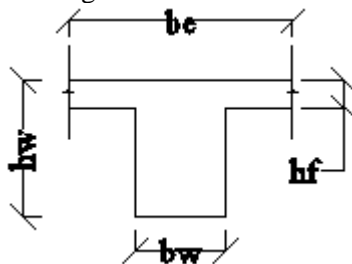


Data perencanaan:

- Tipe Pelat = P7
- $L_x$  = 5,25m
- $L_y$  = 5,25m
- Tebal Pelat Rencana = 0,12m
- Dimensi Balok BIL1 = 40/60
- Dimensi Balok BIM4 = 30/50
- Tebal Dinding Geser = 30cm
- $L_n$  (bentang bersih  $L_y$ ) = 4,95m
- $S_n$  (bentang bersih  $L_x$ ) = 4,85m
- $\beta$  =  $\frac{L_n}{S_n} = \frac{4,95}{4,85} = 1,02$

Pengontrolan tebal pelat ditentukan dari nilai-nilai  $\alpha$  pada tiap-tiap balok yang mengelilingi pelat yang direncanakan. Balok-balok yang mengelilingi pelat terdapat 3 jenis balok, yaitu balok induk melintang 1 tengah BIL 1 40/60, balok induk memanjang 4 tengah BIM 4 30/50, dan balok induk melintang 1 tepi BIL 1 40/60. Setelah meninjau 3 balok tersebut, didapatkan nilai  $\alpha$  pada tiap-tiap balok yang mengelilingi pelat yang direncanakan. Setelah didapatkan nilai  $\alpha$  pada masing-masing balok, kemudian dirata-rata untuk mendapatkan nilai  $\alpha_m$ .

1. Balok BIL1 40/60 tengah



Gambar 4.2 Lebar Slab Efektif Balok 40/60 Interior

Lebar slab efektif sebagai sayap balok-T tidak boleh melebihi seperempat panjang bentang balok, dan lebar efektif sayap

yang menggantung pada masing-masing sisi badan balok tidak boleh melebihi:

$$b_{e1} \leq (8h_f) + b_w = (8 \times 12) + 40 = 136 \text{ cm}$$

$$b_{e2} \leq (1/2 L) + b_w = (1/2 \times 495) + 40 = 287.5 \text{ cm}$$

$$b_{e3} \leq (1/4 L) = (1/4 \times 495) = 123.75 \text{ cm}$$

Dari ketiga nilai diatas, diambil yang terkecil, yaitu 123.75cm. Selanjutnya adalah menghitung nilai k

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h_w}\right)x\left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h_w}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h_w}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h_w}\right)^2\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)x\left(\frac{h_f}{h_w}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{123.75}{40} - 1\right)x\left(\frac{12}{60}\right)x\left[4 - 6\left(\frac{12}{60}\right) + 4\left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{123.75}{40} - 1\right)x\left(\frac{12}{60}\right)^2\right]}{1 + \left(\frac{123.75}{40} - 1\right)x\left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$k = 1,58$$

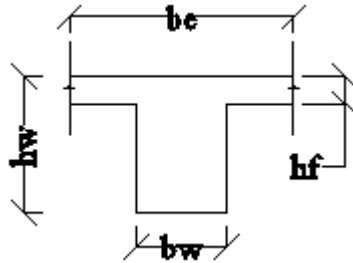
Selanjutnya nilai k digunakan untuk menghitung momen inersia balok

$$\begin{aligned} I_{\text{balok}} &= 1/12 \times b_w \times h^3 \times k \\ &= 1/12 \times 40 \times 60^3 \times 1,58 \\ &= 1140081 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{pelat}} &= 1/12 \times L \times h_f^3 \\ &= 1/12 \times 525 \times 12^3 \\ &= 75600 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= I_{\text{balok}} / I_{\text{pelat}} \\ &= 1140081 / 75600 \\ &= 15,08 \end{aligned}$$

## 2. Balok BIM4 30/50 tengah



Gambar 4.3 Lebar Slab Efektif Balok 30/50 Interior

Berikut ini adalah perhitungan lebar efektif sayap pelat:

$$b_{e1} \leq (8h_f) + b_w = (8 \times 12) + 30 = 126 \text{ cm}$$

$$b_{e2} \leq (1/2 L) + b_w = (1/2 \times 485) + 30 = 272.5 \text{ cm}$$

$$b_{e3} \leq (1/4 L) = (1/4 \times 485) = 121.25 \text{ cm}$$

Dari ketiga nilai diatas, diambil yang terkecil, yaitu 121.25cm. Selanjutnya adalah menghitung nilai k

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h_w}\right) x \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h_w}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h_w}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h_w}\right)^2\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h_w}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{121.25}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{50}\right) x \left[4 - 6\left(\frac{12}{50}\right) + 4\left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{121.25}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{50}\right)^2\right]}{1 + \left(\frac{121.25}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{50}\right)}$$

$$k = 1,77$$

Selanjutnya nilai k digunakan untuk menghitung momen inersia balok

$$I_{\text{balok}} = 1/12 \times b_w \times h^3 \times k$$

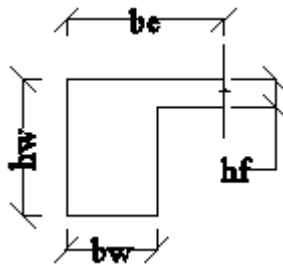
$$= 1/12 \times 30 \times 50^3 \times 1,77$$

$$= 554134,2 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} I_{\text{pelat}} &= 1/12 \times L \times h_f^3 \\ &= 1/12 \times 525 \times 12^3 \\ &= 75600 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= I_{\text{balok}} / I_{\text{pelat}} \\ &= 554134,2 / 75600 \\ &= 7,33 \end{aligned}$$

### 3. Balok BIL1 40/60 tepi



Gambar 4.4 Lebar Slab Efektif Balok 40/60 Eksterior

Berikut ini adalah perhitungan lebar efektif sayap pelat:

$$\begin{aligned} b_{e1} &\leq (6h_f) + b_w = (6 \times 12) + 40 = 112 \text{ cm} \\ b_{e2} &\leq (1/2 L) + b_w = (1/2 \times 495) + 40 = 287,5 \text{ cm} \\ b_{e3} &\leq (1/12 L) = (1/12 \times 495) = 41,25 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dari ketiga nilai diatas, diambil yang terkecil, yaitu 41,25cm. Selanjutnya adalah menghitung nilai k

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h_w}\right) \times \left[ 4 - 6 \left(\frac{h_f}{h_w}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h_w}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h_w}\right)^2 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h_w}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{41,25}{30} - 1\right)x\left(\frac{12}{50}\right)x \left[4 - 6\left(\frac{12}{50}\right) + 4\left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{41,25}{30} - 1\right)x\left(\frac{12}{50}\right)^2\right]}{1 + \left(\frac{41,25}{30} - 1\right)x\left(\frac{12}{50}\right)}$$

$$k = 1,01$$

Selanjutnya nilai  $k$  digunakan untuk menghitung momen inersia balok

$$\begin{aligned} I_{\text{balok}} &= 1/12 \times b_w \times h^3 \times k \\ &= 1/12 \times 40 \times 60^3 \times 1,01 \\ &= 728766,3 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{pelat}} &= 1/12 \times L \times h_f^3 \\ &= 1/12 \times 525 \times 12^3 \\ &= 75600 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= I_{\text{balok}} / I_{\text{pelat}} \\ &= 728766,3 / 75600 \\ &= 9,64 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai  $\alpha$  pada masing-masing balok, kemudian nilai  $\alpha$  dirata-rata untuk mendapatkan nilai  $\alpha_m$

$$\begin{aligned} \alpha_m &= \alpha_{\text{rata-rata}} \\ &= (15,08 + 7,33 + 9,64 + 7,33) / 4 \\ &= 11,78 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.3 (c) dimana untuk  $\alpha_m > 2$  maka ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta}$$

dan tidak boleh kurang dari 9cm, diambil  $f_y$  sebesar 240Mpa. Sehingga tebal pelat adalah

$$h = \frac{\ln(0.8 + \frac{240}{1400})}{36 + 5.1,02}$$

$$h = 11,29 \text{ cm}$$

maka tebal pelat diambil sebesar 12cm.

Untuk pelat lantai dan pelat atap dengan semua jenis tipe pelat direncanakan dengan tebal sama yaitu 12cm.

#### 4.1.2 Perencanaan Dimensi Balok

Penentuan dimensi balok terbagi menjadi balok induk, balok anak, dan balok pratekan. Berikut ini adalah perhitungan dimensi balok berdasarkan SNI 2847-2013.

Perencanaan dimensi tinggi balok induk minimum ( $h_{min}$ ) dihitung dengan menggunakan  $1/12$  dari panjang balok. Untuk  $f_y$  selain 420MPa nilainya harus dikalikan dengan  $0,4 + f_y/700$ . Sedangkan lebar balok minimum diambil sebesar  $2/3 h_{min}$ . Untuk lebih detailnya dimensi balok induk memanjang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

##### 4.1.2.1 Perencanaan Dimensi Balok Induk Memanjang

Perencanaan dimensi tinggi balok induk minimum ( $h_{min}$ ) dihitung dengan menggunakan  $1/12$  dari panjang balok. Untuk  $f_y$  selain 420MPa nilainya harus dikalikan dengan  $0,4 + f_y/700$ . Sedangkan lebar balok minimum diambil sebesar  $2/3 h_{min}$ . Untuk lebih detailnya dimensi balok induk memanjang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perencanaan Dimensi Balok Induk Memanjang

KODE	L	$h=1/12L$	$b=2/3h$	h	b
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
BIM 1	4600	372.381	266.6667	400	300
BIM 2	2350	190.2381	266.6667	400	300
BIM 3	4550	368.3333	266.6667	400	300

BIM 4	5250	425	333.3333	500	300
BIM 5	3000	242.8571	266.6667	400	300
BIM 6	2625	212.5	266.6667	400	300

#### 4.1.2.2 Perencanaan Dimensi Balok Induk Melintang

Perencanaan dimensi tinggi balok induk minimum ( $h_{min}$ ) dihitung dengan menggunakan  $1/12$  dari panjang balok. Untuk  $f_y$  selain 420MPa nilainya harus dikalikan dengan  $0,4 + f_y/700$ . Sedangkan lebar balok minimum diambil sebesar  $2/3 h_{min}$ . Untuk lebih detailnya dimensi balok induk melintang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perencanaan Dimensi Balok Induk Melintang

KODE	L	$h=1/12L$	$b=2/3h$	h	b
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
BIL 1	5250	425	400	600	400
BIL 2	3000	242.8571	266.6667	400	300
BIL 3	7350	595	400	600	400
BIL 4	4550	368.3333	266.6667	400	300
BIL 5	4200	340	266.6667	400	300
BIL 6	2575	208.4524	266.6667	400	300
BIL 7	2400	194.2857	266.6667	400	300
BIL 8	4600	372.381	266.6667	400	300
BIL 9	2825	228.6905	266.6667	400	300
BIL 10	2600	210.4762	266.6667	400	300

#### 4.1.2.3 Perencanaan Dimensi Balok Anak

Perencanaan dimensi tinggi balok anak minimum ( $h_{min}$ ) dihitung dengan menggunakan  $1/21$  dari panjang balok. Untuk  $f_y$  selain 420MPa nilainya harus dikalikan dengan  $0,4 + f_y/700$ . Sedangkan lebar balok minimum diambil sebesar  $2/3 h_{min}$ .

Untuk lebih detailnya dimensi balok anak dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perencanaan Dimensi Balok Anak

KODE	L	$h=1/21L$	$b=2/3h$	h	b
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
BA 1	4950	228.9796	233.3333	350	200
BA 2	2600	120.2721	200	300	200
BA 3	5250	242.8571	233.3333	350	200
BA 4	3000	138.7755	200	300	200
BA 5	2350	108.7075	200	300	200
BA 6	4600	212.7891	233.3333	350	200
BA 7	4550	210.4762	233.3333	350	200

#### 4.1.2.4 Perencanaan Dimensi Balok Pratekan

Perencanaan dimensi tinggi balok pratekan ( $h_{min}$ ) dihitung dengan menggunakan  $1/20$  dari panjang balok. Sedangkan lebar balok minimum diambil sebesar  $2/3 h_{min}$ . Untuk lebih detailnya dimensi balok pratekan dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perencanaan Dimensi Balok Pratekan

KODE	L	$h=1/20L$	$b=2/3h$	h	b
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
BP 1	11550	577.5	400	600	400
BP 2	11550	577.5	400	600	400

### 4.1.3 Perencanaa Dimensi Kolom

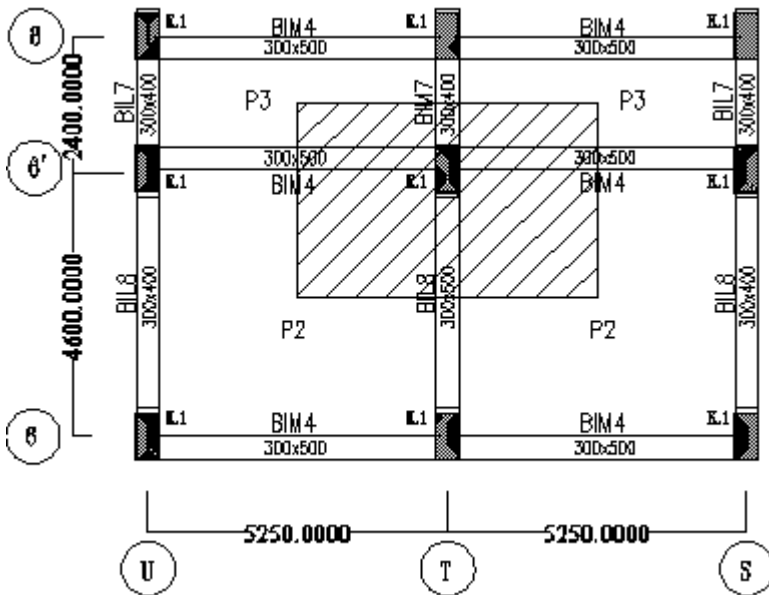
Perencanaan dimensi kolom yaitu dengan cara menghitung distribusi beban yang disalurkan ke satu kolom. Kolom yang menerima distribusi beban adalah kolom yang paling bawah karena menerima beban yang paling besar. Beban-beban yang disalurkan ke kolom adalah beban mati dan beban hidup berdasarkan SNI pembebanan 1727-2013 dan PPIUG 1983.



Setelah semua beban dihitung, dapat ditentukan luasan penampang kolom dengan menggunakan persamaan:

$$A = \frac{W}{0,35x f'_c}$$

dimana W merupakan distribusi beban yang diterima satu kolom. Setelah mendapatkan luasan penampang, dapat direncanakan dimensi kolomnya. Distribusi beban yang disalurkan ke kolom dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Denah Distribusi Beban Yang Disalurkan ke Kolom

Berikut ini adalah perhitungan distribusi beban yang akan disalurkan ke kolom , dan dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Perhitungan Distribusi Beban yang Disalurkan ke Kolom

Jenis Beban	Lx (m)	Ly (m)	t (m)	Bj (kg/m <sup>3</sup> )	Bj (kg/m <sup>2</sup> )	jumlah (n)	Berat (kg)
Lantai LG							
Pelat lantai	3.425	5.25	0.12	2400		1	5178.6
Balok 40/60	0.4	3.425	0.6	2400		1	1972.8
Balok 30/50	5.25	0.3	0.5	2400		1	1890
Kolom40/80	0.4	0.8	3.5	2400		1	2688
spesi	3.425	5.25			21	1	377.606
keramik	3.425	5.25			24	1	431.55
plumbing	3.425	5.25			25	1	449.531
beban hidup	3.425	5.25			192	1	3452.4
Lantai GF							
Pelat lantai	3.425	5.25	0.12	2400		1	5178.6
Balok 40/60	0.4	3.425	0.6	2400		1	1972.8
Balok 30/50	5.25	0.3	0.5	2400		1	1890
Kolom40/80	0.4	0.8	3.25	2400		1	2496
spesi	3.425	5.25			21	1	377.606
keramik	3.425	5.25			24	1	431.55
plumbing	3.425	5.25			25	1	449.531
plafon	3.425	5.25			11	1	197.794
penggantung	3.425	5.25			7	1	125.869
Instalasi	3.425	5.25			40	1	719.25
beban hidup	3.425	5.25			192	1	3452.4
Lantai 1-16							
Pelat lantai	3.425	5.25	0.12	2400		16	82857.6
Balok 40/60	0.4	3.425	0.6	2400		16	31564.8
Balok 30/50	5.25	0.3	0.5	2400		16	30240

Kolom40/80	0.4	0.8	2.8	2400		16	34406.4
spesi	3.425	5.25			21	16	6041.7
keramik	3.425	5.25			24	16	6904.8
plumbing	3.425	5.25			25	16	7192.5
plafon	3.425	5.25			11	16	3164.7
penggantung	3.425	5.25			7	16	2013.9
Instalasi	3.425	5.25			40	16	11508
beban hidup	3.425	5.25			192	16	55238.4
Lantai 17							
Pelat lantai	3.425	5.25	0.12	2400		1	5178.6
Balok 40/60	0.4	3.425	0.6	2400		1	1972.8
Balok 30/50	5.25	0.3	0.5	2400		1	1890
Kolom40/80	0.4	0.8	3	2400		1	2304
spesi	3.425	5.25			21	1	377.606
keramik	3.425	5.25			24	1	431.55
plumbing	3.425	5.25			25	1	449.531
plafon	3.425	5.25			11	1	197.794
penggantung	3.425	5.25			7	1	125.869
Instalasi	3.425	5.25			40	1	719.25
beban hidup	3.425	5.25			497	1	8936.68
Lantai 18							
Pelat lantai	3.425	5.25	0.12	2400		1	5178.6
Balok 40/60	0.4	3.425	0.6	2400		1	1972.8
Balok pratekan 40/60	5.25	0.4	0.6	2400		1	3024
plumbing	3.425	5.25			25	1	449.531
plafon	3.425	5.25			11	1	197.794
penggantung	3.425	5.25			7	1	125.869
Instalasi	3.425	5.25			40	1	719.25

aspal	3.425	5.25			14	1	251.738
beban hidup	3.425	5.25			497	1	8936.68
TOTAL							348305

Direncanakan  $f'_c = 35 \text{ MPa}$  sehingga luasan penampang kolom dapat dihitung dengan cara berikut:

$$A = W / 0,35 f'_c$$

$$A = 348305 / 0,35 \times 350$$

$$b \times h = 2843,303 \text{ cm}^2$$

direncanakan  $b = 80 \text{ cm}$ , sehingga

$$h = 2843,303 \text{ cm}^2 / 80 \text{ cm}$$

$$= 35,54 \approx 50 \text{ cm}$$

Jadi perencanaan dimensi kolom (K1) yaitu 50/80

#### 4.1.4 Perencanaan Tebal Dinding Geser

Menurut SNI 03-2847-201 pasal 14.5.3.1 menyatakan bahwa tebal dinding geser tidak boleh kurang dari  $L/25$  tinggi atau panjang bentang tertumpu, yang mana yang lebih pendek, atau tidak kurang dari 100 mm.

Direncanakan dinding geser:

$$\text{Tebal} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang} = 525 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi} = 350 \text{ cm}$$

Perencanaan dinding geser harus memenuhi syarat berikut ini

- Tebal rencana dinding  $\geq \frac{H}{24}$ , H: Tinggi total dinding
- Tebal rencana dinding  $\geq \frac{L}{24}$ , L: Panjang bentang dinding
- Tebal rencana dinding  $\geq 140 \text{ mm}$

$$35 \text{ cm} \geq \frac{H}{24} = \frac{350}{24} = 14,58 \text{ cm}$$

$$35\text{cm} \geq \frac{L}{24} = \frac{525}{24} = 21,875\text{cm}$$

$$35\text{cm} \geq 14\text{cm}$$

Dari ketiga syarat di atas dapat terpenuhi, sehingga tebal dinding geser yang dipakai adalah 30cm

## 4.2 Perencanaan Struktur Sekunder

Struktur sekunder merupakan struktur yang menahan kekuatan tidak sepenuhnya dari suatu struktur gedung, tetapi tetap mengalami tegangan-tegangan akibat pembebanan yang bekerja pada bagian struktur tersebut baik pembebanan secara langsung maupun perubahan bentuk dari struktur primer. Dalam perencanaan struktur sekunder terdiri dari perencanaan penulangan pelat, tangga, balok anak, balok lift, dan balok bordes.

### 4.2.1 Perencanaan Pelat

Pada perencanaan pelat akan diambil contoh satu perhitungan saja. Perencanaan penulangan pelat ini mengacu pada peraturan SNI 2847-2013. Sedangkan untuk perhitungan momen-momen pada pelat, dihitung menurut PBI-1971. Untuk pembebanan pelat berdasarkan pada SNI 1727-2013 dan PPIUG 1983.

#### 4.2.1.1 Data Perencanaan

Pelat yang akan dihitung pada tugas akhir ini adalah pelat tipe 1 (P1) pada lantai 1. Adapun data-data perencanaan yang akan dipakai untuk perencanaan pelat adalah sebagai berikut:

- Mutu beton,  $f'_c$  = 35 MPa
- Mutu baja,  $f_y$  = 240 MPa
- Bentang pendek pelat,  $L_x$  = 4550 mm
- Bentang panjang pelat,  $L_y$  = 5250 mm
- Tebal pelat,  $t$  = 120 mm
- Selimut beton,  $c$  = 20 mm

#### 4.2.1.2 Pembebanan Pelat

Beban pada pelat terdiri dari beban mati dan beban hidup. Beban-beban yang terjadi pada pelat dapat dilihat pada Tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4.6 Pembebanan Pada Pelat

<b>Beban</b>		<b>Nilai</b>	<b>Satuan</b>
<b>Beban Hidup</b>			
ruang pribadi dan koridor		192	kg/m <sup>2</sup>
<b>Beban Mati</b>			
Berat sendiri	t = 0.12m	288	kg/m <sup>2</sup>
Spesi per cm tebal (t=1 cm)		21	kg/m <sup>2</sup>
Keramik per cm tebal (t=1cm)		24	kg/m <sup>2</sup>
Plafon		11	kg/m <sup>2</sup>
Penggantung langit-langit		7	kg/m <sup>2</sup>
AC dan instalasi		40	kg/m <sup>2</sup>
Plumbing		25	kg/m <sup>2</sup>
<b>Total</b>		<b>416</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Ultimate</b>	<b>1,4D</b>	<b>499.2</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Ultimate</b>	<b>1,2D+ 1,6L</b>	<b>806.4</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>

Berdasarkan pembebanan di atas, dapat dilihat bahwa kombinasi beban terbesar terjadi pada kombinasi 1,2D+1,6L. Sehingga beban yang digunakan dalam perencanaan pelat adalah sebesar 806,4 kg/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.1.3 Penulangan Pelat

Sebelum menghitung penulangan pada pelat, pelat harus didefinisikan apakah termasuk pelat satu arah atau pelat 2 arah. perlu dihitung juga momen – momen yang terjadi pada pelat. Momen-momen dihitung berdasarkan PBI 1971.

$$L_y/L_x = 5,25/4,55 = 1,15 < 2 \text{ (pelat 2 arah)}$$

Karena termasuk pelat 2 arah, maka pelat harus ditulangi pada arah x dan arah y termasuk tumpuan dan lapangan. Pelat direncanakan terjepit elastis, sehingga perhitungan momen-momen pada pelat adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Ml_x &= 0,001 \times q \times L_x^2 \times X \\ &= 0,001 \times 806,4 \times 4,55^2 \times 44,2 \\ &= 737,13 \text{ kgm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ml_y &= 0,001 \times q \times L_x^2 \times X \\ &= 0,001 \times 806,4 \times 4,55^2 \times 37,5 \\ &= 626,69 \text{ kgm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mt_x &= 0,001 \times q \times L_x^2 \times X \\ &= 0,001 \times 806,4 \times 4,55^2 \times 44,2 \\ &= 737,13 \text{ kgm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mt_y &= 0,001 \times q \times L_x^2 \times X \\ &= 0,001 \times 806,4 \times 4,55^2 \times 37,5 \\ &= 626,69 \text{ kgm/m} \end{aligned}$$

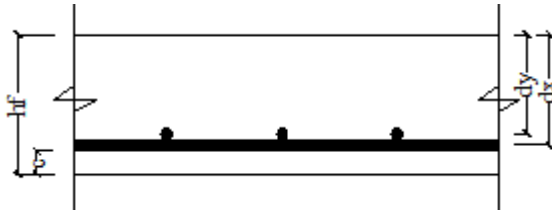
Momen tumpuan dan lapangan pada pelat nilainya sama sehingga penulangannya pun sama. Jadi yang perlu dihitung adalah penulangan arah x dan arah y.

#### 4.2.1.3.1 Penulangan Arah X

Direncanakan tulangan dengan diameter polos 12mm, dan jarak antar tulangan 200mm, sehingga

$$M_u = 7371262 \text{ Nmm/m}$$

$$d_x = t - c - \phi/2$$

Gambar 4.6 Tebal Efektif Pelat,  $d_x$ 

$$d_x = 120 - 20 - 12/2$$

$$= 94mm$$

$$A_s = 1/4 \times \pi \times d^2 \times b/s$$

$$= 1/4 \times \pi \times 12^2 \times 1000/200$$

$$= 565,49mm^2/m$$

$$T = A_s \times f_y$$

$$= 565,49 \times 240$$

$$= 135716,8N/m$$

$$a = T / (0,85 \times f_c' \times b)$$

$$= 135716,8 / (0,85 \times 35 \times 1000)$$

$$= 4,56mm$$

$$\phi M_n = \phi \times T \times (d - a/2)$$

$$= 0,9 \times 135716,8 \times (94 - 4,56/2)$$

$$= 11203034Nmm/m$$

Cek syarat apakah momen kapasitas ( $M_n$ ) lebih dari momen akibat gaya dari luar ( $M_u$ )

$$\phi M_n \geq M_u$$



$$11203034 Nmm/m \geq 7371262 Nmm/m \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol jarak spasi antar tulangan menurut SNI 2847-2013 pasal 13.3.2 tidak boleh melebihi dua kali tebal pelat

$$s \leq 2h$$

$$200mm \leq 2 \times 120mm$$

$$200mm \leq 240mm \text{ (memenuhi)}$$

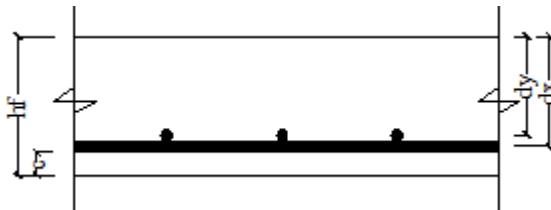
Jadi, penulangan pada pelat tipe 1 (P1) lantai 1 arah x bagian lapangan maupun tumpuan dipasang tulangan  $\emptyset 12$ -200

#### 4.2.1.3.2 Penulangan Arah Y

Direncanakan tulangan dengan diameter polos 12mm, dan jarak antar tulangan 200mm, sehingga

$$M_u = 6266857 Nmm/m$$

$$d_x = t - c - \emptyset_x - \emptyset_y/2$$



Gambar 4.7 Tebal efektif Pelat,  $d_y$

$$d_y = 120 - 20 - 10 - 12/2$$

$$= 82mm$$

$$A_s = 1/4 \times \pi \times d^2 \times b/s$$

$$= 1/4 \times \pi \times 12^2 \times 1000/200$$

$$= 565,49 mm^2/m$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_y \\
 &= 565,49 \times 240 \\
 &= 135716,8 \text{ N/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= T / (0,85 \times f_c' \times b) \\
 &= 135716,8 / (0,85 \times 35 \times 1000) \\
 &= 4,56 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times T \times (d - a/2) \\
 &= 0,9 \times 135716,8 \times (82 - 4,56/2) \\
 &= 9737293 \text{ Nmm/m}
 \end{aligned}$$

Cek syarat apakah momen kapasitas ( $M_n$ ) lebih dari momen akibat gaya dari luar ( $M_u$ )

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &\geq M_u \\
 9737293 \text{ Nmm/m} &\geq 6266857 \text{ Nmm/m} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

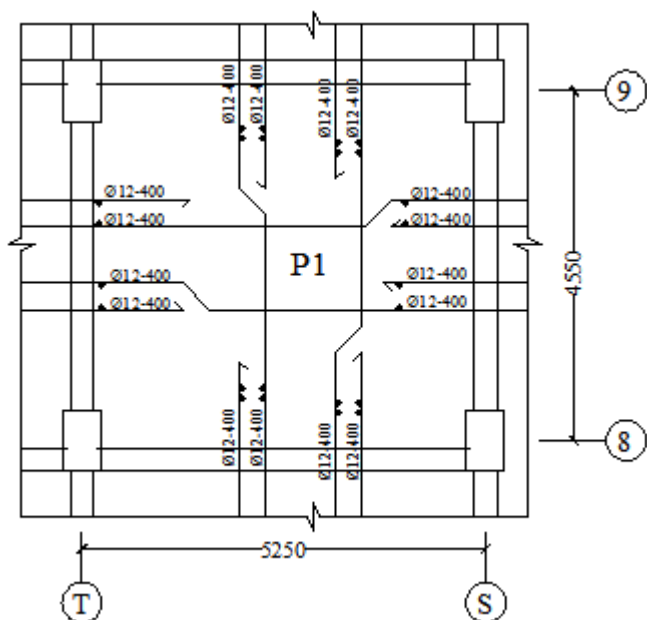
Kontrol jarak spasi antar tulangan menurut SNI 2847-2013 pasal 13.3.2 tidak boleh melebihi dua kali tebal pelat

$$s \leq 2h$$

$$200 \text{ mm} \leq 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, penulangan pada pelat tipe 1 (P1) lantai 1 arah x bagian lapangan maupun tumpuan dipasang tulangan  $\phi 12$ -200



Gambar 4.8 Penulangan Pelat Tipe 1

Tabel 4.7 Rekapitulasi Penulangan Pelat

Tipe	Tebal (cm)	Lapangan		Tumpuan	
		Arah x	Arah y	Arah x	Arah y
P1	12cm	Ø12-200	Ø12-200	Ø12-200	Ø12-200
P2	12cm	Ø12-200	Ø12-200	Ø12-200	Ø12-200
P3	12cm	Ø12-200	Ø12-200	Ø12-200	Ø12-200
P4	12cm	Ø12-200	Ø12-200	Ø12-200	Ø12-200
P5	12cm	Ø12-200	Ø12-200	Ø12-200	Ø12-200
P6	12cm	Ø12-200	Ø12-200	Ø12-200	Ø12-200
P7	12cm	Ø12-100	Ø12-100	Ø12-100	Ø12-100
P8-P27	12cm	Ø12-200	Ø12-200	Ø12-200	Ø12-200
P28	12cm	Ø12-200	-	Ø12-200	-
P29	12cm	Ø12-200	-	Ø12-200	-
P30	12cm	Ø12-200	-	Ø12-200	-

P31	12cm	Ø12-200	-	Ø12-200	-
P32	12cm	Ø12-200	-	Ø12-200	-
P33	12cm	Ø12-200	-	Ø12-200	-
P34	12cm	Ø12-200	-	Ø12-200	-
P35	12cm	Ø12-200	-	Ø12-200	-
P36	12cm	Ø12-200	-	Ø12-200	-
P37	12cm	Ø12-200	-	Ø12-200	-
P38	12cm	Ø12-200	-	Ø12-200	-
P39	12cm	Ø12-200	-	Ø12-200	-

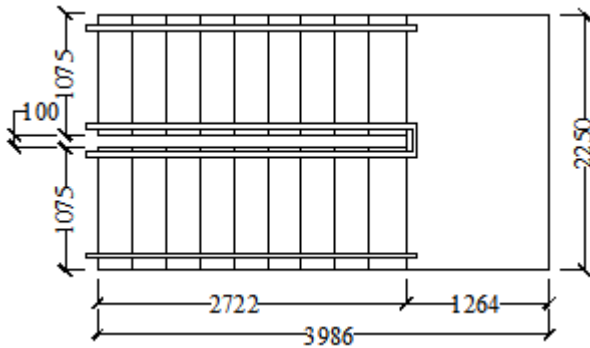
## 4.2.2 Perencanaan Tangga

Pada perencanaan tangga akan diambil contoh satu perhitungan saja. Perencanaan penulangan tangga ini mengacu pada peraturan SNI 2847-2013. Untuk pembebanan pada tangga berdasarkan pada SNI 1727-2013.

### 4.2.2.1 Data Perencanaan

Pelat Tangga dan Bordes yang akan dihitung pada tugas akhir ini adalah pelat tipe 1 (P1) yang terletak antara lantai LG dan lantai GF. Adapun data-data perencanaan yang akan dipakai untuk perencanaan adalah sebagai berikut:

- Mutu beton,  $f'_c$  = 35 MPa
- Mutu baja,  $f_y$  = 240 MPa
- Tinggi lantai = 3500 mm
- Lebar injakan,  $i$  = 280 mm
- Tinggi tanjakan,  $t$  = 180 mm
- Tebal pelat tangga = 150 mm
- Tebal pelat bordes = 150 mm
- Lebar pelat bordes = 2250 mm
- Panjang pelat bordes = 1264 mm
- Panjang horizontal tangga = 2722 mm
- Jumlah tanjakan = 20 buah
- Jumlah injakan = 19 buah
- Selimut beton,  $c$  = 20 mm



Gambar 4.9 Tangga Tipe 1

Perhitungan perencanaan:

a. Kemiringan tangga

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\text{tinggi tangga sampai bordes}}{\text{panjang horizontal tangga}}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{1750\text{mm}}{2722\text{mm}}$$

$$\alpha = 32,7^\circ$$

b. Kontrol persyaratan

$$\begin{aligned} - \quad 60 &\leq (2t + i) &\leq 65 \\ 6 &\leq (2(18) + 28) &\leq 65 \\ 60 &\leq 64 &\leq 65 \text{ (memenuhi)} \\ - \quad 25 &\leq \alpha &\leq 40 \\ 25 &\leq 32,7 &\leq 40 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

c. Tebal Pelat Efektif ( $t_r$ )

$$t_r = \text{tebal pelat tangga} + (1/2i \sin \alpha)$$

$$t_r = 15 + (1/2(28) \sin 32,7)$$

$$t_r = 22,6 \approx 23\text{cm}$$

#### 4.2.2.2 Pembebanan Pada Tangga dan Bordes

##### 4.2.2.2.1. Pembebanan Pelat Tangga

Pembebanan pada pelat tangga terdiri dari beban mati dan beban hidup yang mengacu pada SNI 1727-2013 dan PPIUG 1983.

Beban mati:

- Pelat tangga	=	$0,23\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 \times 1,075\text{m}$	=	593	kg/m
- Keramik 1cm	=	$24\text{kg/m}^2 \times 1,075\text{m}$	=	25,8	kg/m
- Spesi 1cm	=	$21\text{kg/m}^2 \times 1,075\text{m}$	=	22,6	kg/m
- Railing	=	$10\text{kg/m}^2 \times 1,075\text{m}$	=	10,8	kg/m +
Total qD			=	653	kg/m

Beban hidup:

- Tangga	=	$479\text{kg/m}^2 \times 1,075\text{m}$	=	515	kg/m +
Total qL			=	515	kg/m

Beban ultimate:

$$\begin{aligned}
 - qU &= 1,2qD + 1,6qL \\
 qU &= 1,2(653) + 1,6(515) \\
 qU &= 1607\text{kg/m}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.2.2.2. Pembebanan Pelat Bordes

Pembebanan pada pelat bordes terdiri dari beban mati dan beban hidup yang mengacu pada SNI 1727-2013 dan PPIUG 1983.

Beban mati:

- Pelat bordes	=	$0,15\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 \times 2,25\text{m}$	=	810	kg/m
- Keramik 1cm	=	$24\text{kg/m}^2 \times 2,25\text{m}$	=	54	kg/m
- Spesi 1cm	=	$21\text{kg/m}^2 \times 2,25\text{m}$	=	47,3	kg/m
- Railing	=	$10\text{kg/m}^2 \times 2,25\text{m}$	=	22,5	kg/m +
Total qD			=	934	kg/m

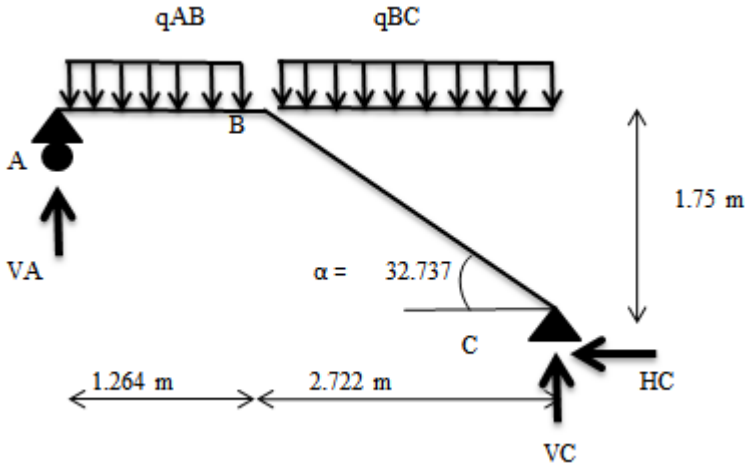
Beban hidup:

- Bordes	=	$479\text{kg/m}^2 \times 2,25\text{m}$	=	1078	kg/m +
Total qL			=	1078	kg/m

Beban ultimate:

$$\begin{aligned}
 - qU &= 1,2qD + 1,6qL \\
 qU &= 1,2(934) + 1,6(1078) \\
 qU &= 2845 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.2.3 Mekanika Teknik Tangga



Gambar 4.10 Mekanika Teknik Tangga

$$q_{AB} = 2845 \text{ kg/m}$$

$$q_{BC} = \frac{1607 \text{ kg/m}}{\cos \alpha} = 1910 \text{ kg/m}$$

##### 4.2.2.3.1. Perhitungan Reaksi Perletakan

$$\sum M_C = 0$$

$$(V_A \times L_{AC}) - (q_{AB} \times L_{AB} \times (0,5L_{AB} + L_{BC})) - (q_{BC} \times L_{BC} \times (0,5L_{BC})) = 0$$

$$(V_A \times 4\text{m}) - (2845 \text{ kg/m} \times 1,264\text{m} \times (0,5 \times 1,264\text{m} + 2,722\text{m})) - (1910 \text{ kg/m} \times 2,722\text{m} \times 0,5 \times 2,722\text{m}) = 0$$

$$V_A = 4801 \text{ kg } (\uparrow)$$

$$\sum H_C = 0$$

$$H_C = 0$$

$$\sum M_A = 0$$

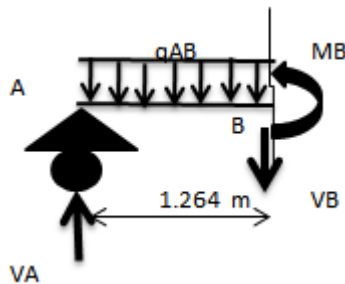
$$- (V_C \times L_{AC}) + (q_{AB} \times L_{AB} \times (0,5 L_{AB})) + (q_{BC} \times L_{BC} \times (0,5 L_{BC} + L_{AB})) + (H_C \times H_{AC}) = 0$$

$$- (V_C \times 4 \text{ m}) - (2845 \text{ kg/m} \times 1,264 \text{ m} \times (0,5 \times 1,264 \text{ m})) - (1910 \text{ kg/m} \times 2,722 \text{ m} \times (0,5 \times 2,722 \text{ m} + 1,264 \text{ m})) + (0 \times 1,75 \text{ m}) = 0$$

$$V_C = 3995 \text{ kg } (\downarrow)$$

#### 4.2.2.3.2. Perhitungan Gaya-gaya Dalam

Perhitungan gaya-gaya dalam pada batang A-B adalah sebagai berikut:



Gambar 4.11 Potongan A-B Pada Tangga

a. Perhitungan Gaya Dalam Momen:

$$M_{X1} = V_A \times X1 - 0,5 \times q_{AB} \times X1$$

$$X1 = 0$$

$$M_A = 4801 \text{ kg} \times 0 - 0,5 \times 2845 \text{ kg/m} \times 0 = 0 \text{ kgm}$$

$$X1 = 1,264 \text{ m}$$

$$M_B = 4801 \text{ kg} \times 1,264 \text{ m} - 0,5 \times 2845 \text{ kg/m} \times 1,264 \text{ m} = 3796 \text{ kgm}$$



b. Perhitungan Gaya Dalam Lintang:

$$D1 = V_A \times q_{AB} \times X1$$

$$X1 = 0$$

$$V_A = 4801 \text{ kg} - 0,5 \times 0 = 4801 \text{ kg}$$

$$X1 = 1,264 \text{ m}$$

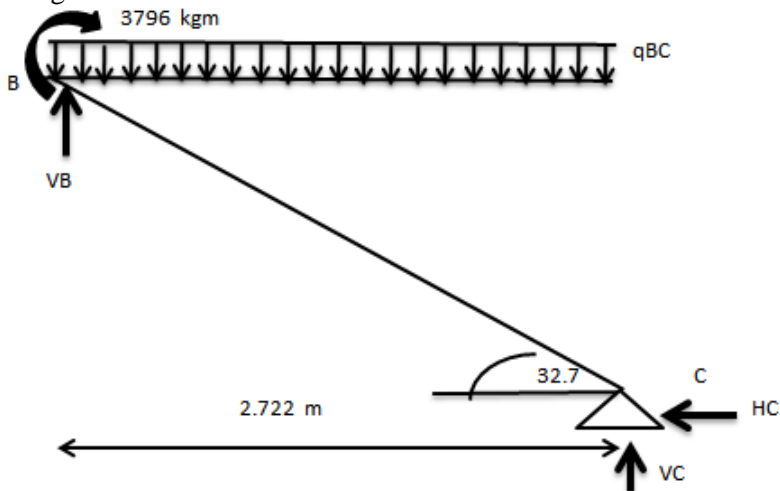
$$V_B = 4801 \text{ kg} - 2845 \text{ kg/m} \times 1,264 \text{ m} = 1205 \text{ kg}$$

c. Perhitungan Gaya Dalam Normal:

$$N_A = 0$$

$$N_B = 0$$

Berikutnya perhitungan gaya-gaya dalam pada batang B-C adalah sebagai berikut:



Gambar 4.12 Potongan A-B Pada Tangga

a. Perhitungan Gaya Dalam Lintang:

$$D2 = -V_C \times \cos \alpha + H_C \times \sin \alpha + q_{BC} \times X2 \times \cos \alpha$$

$$X2 = 0$$

$$DC = -3995\text{kg} \times \cos 32,7 + 0 \times \sin 32,7 + 1910\text{kg/m} \times 0 \times \cos 32,7 = -3360,1\text{kg}$$

$$X2 = 2,722\text{m}$$

$$DB = -3995\text{kg} \times \cos 32,7 + 0 \times \sin 32,7 + 1910\text{kg/m} \times 2,722 \times \cos 32,7 = 1013,9\text{kg}$$

$$DX = 0$$

$$-3995\text{kg} \times \cos 32,7 + 0 \times \sin 32,7 + 1910\text{kg/m} \times X2 \times \cos 32,7 = 0$$

$$X2 = 2,091\text{m}$$

b. Perhitungan Gaya Dalam Momen:

$$MX2 = VC \times x2 - 0,5 \times qBC \times X2^2$$

$$X2 = 0$$

$$MC = 3995\text{kg} \times 0 - 0,5 \times 1910\text{kg/m} \times 0^2 = 0\text{kgm}$$

$$X2 = 2,722\text{m}$$

$$MB = 3995\text{kg} \times 2,722\text{m} - 0,5 \times 1910\text{kg/m} \times (2,722\text{m})^2 = 3796,2\text{kgm}$$

$$X2 = 2,091\text{m}$$

$$MB = 3995\text{kg} \times 2,091\text{m} - 0,5 \times 1910\text{kg/m} \times (2,091\text{m})^2 = 4176,5\text{kgm}$$

c. Perhitungan Gaya Dalam Normal:

$$N2 = -VC \times \sin \alpha - HC \times \cos \alpha + qBC \times X2 \times \sin \alpha$$

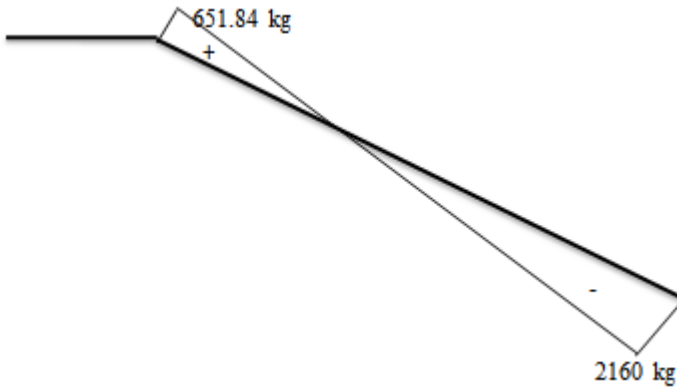
$$X2 = 0$$

$$NC = -3995 \times \sin 32,7 - 0 \times \cos 32,7 + 1910 \times 0 \times \sin 32,7 = -2160,3\text{kg}$$

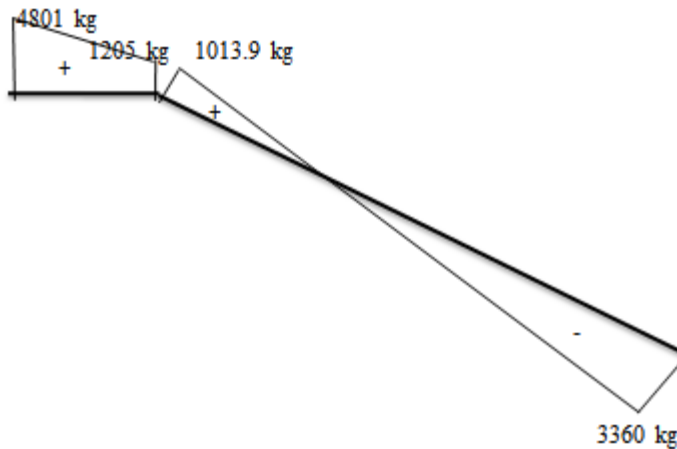
$$X2 = 2,722\text{m}$$

$$NB = -3995 \times \sin 32,7 - 0 \times \cos 32,7 + 1910 \times 2,722 \times \sin 32,7 = 651,84\text{kg}$$

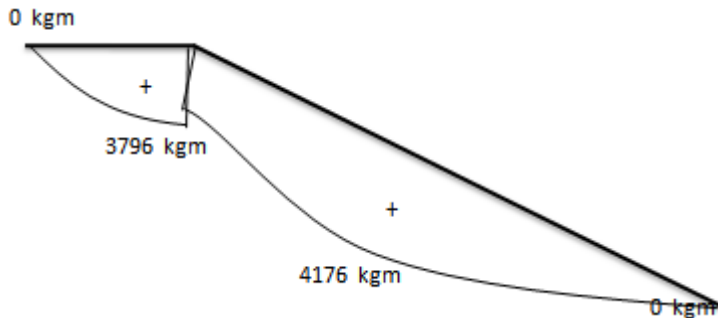
Setelah menghitung gaya dalam, kemudian digambarkan bidang Momen (M), Lintang (D), dan Normal (N) seperti berikut ini.



Gambar 4.13 Bidang Normal (N) pada Tangga



Gambar 4.14 Bidang Lintang (D) pada Tangga



Gambar 4.15 Bidang Momen (M) pada Tangga

#### 4.2.2.4 Penulangan Pelat Tangga

Pada perencanaan tangga diketahui data-data perencanaan sebagai berikut:

- Lebar tangga,  $b$  = 1075mm
- Tebal pelat tangga,  $t$  = 150mm
- Selimut beton,  $c$  = 20mm
- $\beta = 0,85 - 0,008(fc' - 28) = 0,794$

Gaya dalam momen pada tangga diambil yang terbesar dari perhitungan mekanika teknik tangga, yaitu sebesar:

$$Mu = 4176,5 \text{ kgm}$$

Direncanakan tulangan lentur tangga:

- Diameter,  $D$  = 16mm
- Jarak antar tulangan,  $s$  = 200mm

$$\begin{aligned} d &= h - c - 1/2D \\ &= 150\text{mm} - 20\text{mm} - \frac{1}{2} \times 16\text{mm} \\ &= 122\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \phi \\ &= 4176,5 \text{ kgm} / 0,9 \\ &= 4218,0087 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$= 42180087Nmm$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{bxd^2} \\ &= \frac{42180087Nmm}{1075mmx(122mm)^2} \\ &= 2,636N/mm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85x f_{c'}} \\ &= \frac{400MPa}{0,85x 35MPa} \\ &= 13,445 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400MPa} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,5\rho_b \\ &= 0,5x0,85x\beta x\left(\frac{f_{c'}}{f_y}\right)x\left(\frac{600}{600+f_y}\right) \\ &= 0,5x0,85x0,794x\left(\frac{35}{400}\right)x\left(\frac{600}{600+400}\right) \\ &= 0,018 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m}x\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2xmxR_n}{f_y}}\right) \\ &= \frac{1}{13,445}x\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2x13,445x2,636}{400}}\right) \\ &= 0,0069 \end{aligned}$$

Kontrol rasio tulangan:

$$\rho_{min} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{maks}$$

$$0,0035 \leq 0,0069 \leq 0,018 \text{ (memenuhi)}$$

$$A_{s_{perlu}} = \rho b x d$$

$$= 0,0069 \times 1075 \text{ mm} \times 122 \text{ mm}$$

$$= 906,46 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{pakai}} = 1/4 \times \pi \times d^2 \times b / s$$

$$= 1/4 \times \pi \times 16^2 \times 1075 / 200$$

$$= 1080,708 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s_{perlu}} \leq A_{s_{pakai}}$$

$$906,46 \text{ mm}^2 \leq 1080,708 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Maka tulangan lentur pada tangga yang dipakai adalah D16-200

Selain tulangan lentur, pelat tangga juga akan dipasang tulangan susut. Pada SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1 menjelaskan luasan tulangan susut harus disediakan untuk  $f_y$  420MPa, rasio tulangan yang digunakan adalah 0,0018, sehingga luas tulangan susut adalah

$$A_{s_{susut}} = \rho b x d$$

$$= 0,0018 \times 1075 \text{ mm} \times 122 \text{ mm}$$

$$= 236,07 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{pakai}} = 1/4 \times \pi \times d^2 \times b / s$$

$$= 1/4 \times \pi \times 8^2 \times 1075 / 200$$

$$= 270,18 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{sperlu} \leq A_{spakai}$$

$$236,07mm^2 \leq 270,18mm^2 \text{ (memenuhi)}$$

Maka tulangan susut pada tangga yang dipakai adalah  $\emptyset 8-200$

#### 4.2.2.5 Penulangan Pelat Bordes

Pada perencanaan pelat bordes diketahui data-data perencanaan sebagai berikut:

- Lebar bordes,  $b$  = 2250mm
- Tebal pelat bordes,  $t$  = 150mm
- Selimut beton,  $c$  = 20mm
- $\beta = 0,85 - 0,008(f_c' - 28) = 0,794$

Gaya dalam momen pada bordes diambil yang terbesar dari perhitungan mekanika teknik tangga, yaitu sebesar:

$$Mu = 3796,21kgm$$

Direncanakan tulangan lentur bordes:

- Diameter,  $D$  = 13mm
- Jarak antar tulangan,  $s$  = 200mm

$$\begin{aligned} d &= h - c - 1/2D \\ &= 150mm - 20mm - \frac{1}{2} \times 13mm \\ &= 123,5mm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \phi \\ &= 3796,221kgm / 0,9 \\ &= 4640,5232kgm \\ &= 46405232Nmm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{bxd^2} \\ &= \frac{46405232Nmm}{2250mm \times (123,5mm)^2} \end{aligned}$$

$$= 2,90N/mm^2$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85x f_{c'}} \\ &= \frac{400MPa}{0,85x 35MPa} \\ &= 13,445 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400MPa} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,5\rho_b \\ &= 0,5x0,85x\beta x\left(\frac{f_{c'}}{f_y}\right)x\left(\frac{600}{600+f_y}\right) \\ &= 0,5x0,85x0,794x\left(\frac{35}{400}\right)x\left(\frac{600}{600+400}\right) \\ &= 0,018 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} x \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2xm x R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,445} x \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2x13,445x2,90}{400}} \right) \\ &= 0,0076 \end{aligned}$$

Kontrol rasio tulangan:

$$\begin{aligned} \rho_{min} &\leq \rho_{perlu} \leq \rho_{maks} \\ 0,0035 &\leq 0,0076 \leq 0,018 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

$$A_{s_{perlu}} = \rho x b x d$$



$$= 0,0076 \times 2250 \text{ mm} \times 123,5 \text{ mm}$$

$$= 1002,44 \text{ mm}^2$$

$$A_{spakai} = 1/4 \pi x d^2 x b/s$$

$$= 1/4 \pi x 13^2 x 2250/200$$

$$= 1080,71 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{spertu} \leq A_{spakai}$$

$$1002,44 \text{ mm}^2 \leq 1080,71 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Maka tulangan lentur pada bordes yang dipakai adalah D13-200

Selain tulangan lentur, pelat bordes juga akan dipasang tulangan susut. Pada SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1 menjelaskan luasan tulangan susut harus disediakan untuk  $f_y$  420MPa, rasio tulangan yang digunakan adalah 0,0018, sehingga luas tulangan susut adalah

$$A_{susut} = \rho x b x d$$

$$= 0,0018 \times 2250 \text{ mm} \times 123,5 \text{ mm}$$

$$= 500,175 \text{ mm}^2$$

$$A_{spakai} = 1/4 \pi x d^2 x b/s$$

$$= 1/4 \pi x 8^2 x 2250/200$$

$$= 565,49 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{spertu} \leq A_{spakai}$$

$$500,175 \text{ mm}^2 \leq 565,49 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Maka tulangan susut pada bordes yang dipakai adalah Ø8-200

Tabel 4.8 Rekapitulasi Penulangan Tangga

Tipe	Tebal (cm)	Tulangan Tangga		Tulangan Bordes	
		Lentur	Susut	Lentur	Susut
T1	15cm	D16-200	Ø8-200	D13-200	Ø8-200
T2	15cm	D16-200	Ø8-200	D13-200	Ø8-200
T3	15cm	D16-200	Ø8-200	D13-200	Ø8-200
T4	15cm	D16-200	Ø8-200	D13-200	Ø8-200
T5	15cm	D16-200	Ø8-200	D13-200	Ø8-200
T6	15cm	D16-200	Ø8-200	D13-200	Ø8-200
T7	15cm	D16-200	Ø8-200	D13-200	Ø8-200

### 4.2.3 Perencanaan Balok Anak

Balok anak merupakan struktur sekunder yang berfungsi untuk membagi beban yang diterima oleh pelat sehingga dapat mengurangi lendutan pada pelat. Pada perencanaan balok anak akan diambil contoh satu perhitungan saja. Perencanaan penulangan balok anak mengacu pada peraturan SNI 2847-2013.

#### 4.2.3.1 Data Perencanaan

Balok anak yang akan dihitung pada tugas akhir ini adalah balok anak tipe 6 (BA6) yang terletak di lantai GF. Adapun data-data perencanaan yang akan dipakai untuk perencanaan adalah sebagai berikut:

- Mutu beton,  $f_c'$  = 35 MPa
- Mutu baja lentur,  $f_y$  = 400 MPa
- Mutu baja geser,  $f_y$  = 240 MPa
- Panjang balok = 4600 mm
- Dimensi Pelat Atas:
  - Bentang pendek,  $L_x$  = 2400 mm
  - Bentang panjang,  $L_y$  = 4600 mm
- Dimensi Pelat Bawah:
  - Bentang pendek,  $L_x$  = 2600 mm
  - Bentang panjang,  $L_y$  = 4950 mm
- Selimut beton,  $c$  = 30 mm



$$\text{Total } q_L = 479 \text{ kg/m}^2$$

Pembebanan Akibat Pelat Bawah:

Beban mati:

- Berat pelat	= $0,12\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3$	= 288	kg/m <sup>2</sup>
- Keramik 1cm		= 24	kg/m <sup>2</sup>
- Spesi 1cm		= 21	kg/m <sup>2</sup>
- Perpipaan		= 25	kg/m <sup>2</sup> +
Total qD		= 358	kg/m <sup>2</sup>

Beban hidup:

- R.Koridor		= 479	kg/m <sup>2</sup> +
Total qL		= 479	kg/m <sup>2</sup>

Dari gambar tributari pembebanan dapat dilihat bahwa tributari beban pada pelat atas berbentuk trapesium dan pelat bawah berbentuk segitiga. Sehingga perhitungan beban ekuivalen adalah sebagai berikut:

Pelat Atas:

$$\begin{aligned}
 qekw_{trap} &= \frac{1}{6} \times qD \times L_x \times \left(3 - \left(\frac{L_x}{L_y}\right)^2\right) \\
 &= \frac{1}{6} \times 358\text{kg/m}^2 \times 2,4\text{m} \times \left(3 - \left(\frac{2,4\text{m}}{4,6\text{m}}\right)^2\right) \\
 &= 390,62\text{kg/m}
 \end{aligned}$$

Pelat Bawah:

$$\begin{aligned}
 qekw_{segitiga} &= \frac{1}{3} \times qD \times L_x \\
 &= \frac{1}{3} \times 358\text{kg/m}^2 \times 4,6\text{m} \\
 &= 548,93\text{kg/m}
 \end{aligned}$$

Setelah menghitung beban ekuivalen pelat, selanjutnya dapat dihitung pembebanan pada balok.

### Pembebanan Pada Balok:

#### Beban mati:

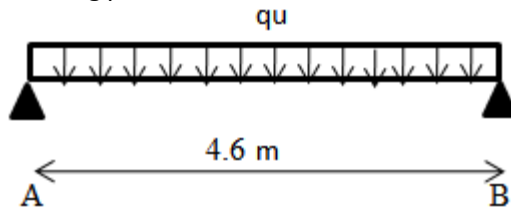
- q ekivalen trapesium dari pelat atas = 390,62 kg/m
- q ekivalen segitiga dari pelat bawah = 548,93 kg/m
- Beban dinding =  $250\text{kg/m}^2 \times 3,5\text{m}$  = 875 kg/m
- Berat Balok =  $2400\text{kg/m}^3 \times 0,2\text{m} \times 0,35\text{m}$  = 168 kg/m +
- Total qD = 1982,55 kg/m

#### Beban hidup:

- q ekivalen trapesium dari pelat atas = 209,49 kg/m
- q ekivalen segitiga dari pelat bawah = 294,4 kg/m +
- Total qL = 503,89 kg/m

#### Beban ultimate:

- $qU = 1,2qD + 1,6qL$
- $qU = 1,2(1982,55) + 1,6(503,89)$
- $qU = 3185,29\text{kg/m}$



Gambar 4.17 Mekanika Teknik Balok Anak

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{1}{8} \times qU \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 3185,25\text{kg/m} \times (4,6\text{m})^2 \\
 &= 8425,102\text{kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{1}{2} \times qU \times L \\
 &= \frac{1}{2} \times 3185,25\text{kg/m} \times 4,6\text{m}
 \end{aligned}$$

$$= 7326,18kg$$

#### 4.2.3.3 Penulangan Lentur Balok Anak

Pada perencanaan balok anak diketahui data-data perencanaan sebagai berikut:

- Lebar balok,  $b$  = 200mm
- Tinggi balok,  $h$  = 350mm
- Selimut beton,  $c$  = 30mm
- $\beta = 0,85 - 0,05/7(f_c' - 28) = 0,8$
- $M_u$  = 8425,102kgm

Direncanakan tulangan lentur balok anak:

- Diameter,  $D$  = 16mm
- Jumlah tulangan,  $n$  = 5 buah

$$\begin{aligned} d &= h - c - \phi - 1/2D \\ &= 350mm - 30mm - 10mm - \frac{1}{2} \times 16mm \\ &= 302mm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \phi \\ &= 8425,102kgm / 0,9 \\ &= 9361,2244kgm \\ &= 93612244Nmm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{93612244Nmm}{200mm \times (302mm)^2} \\ &= 5,13N/mm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400MPa}{0,85 \times 35MPa} \end{aligned}$$

$$= 13,445$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= \frac{1,4}{400MPa}$$

$$= 0,0035$$

$$\rho_{max} = 0,5\rho_b$$

$$= 0,5 \times 0,85 \times \beta \times \left(\frac{f_c'}{f_y}\right) \times \left(\frac{600}{600+f_y}\right)$$

$$= 0,5 \times 0,85 \times 0,8 \times \left(\frac{35}{400}\right) \times \left(\frac{600}{600+400}\right)$$

$$= 0,018$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}\right)$$

$$= \frac{1}{13,445} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,445 \times 5,13}{400}}\right)$$

$$= 0,014$$

Kontrol rasio tulangan:

$$\rho_{min} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{maks}$$

$$0,0035 \leq 0,014 \leq 0,018 \text{ (memenuhi)}$$

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,014 \times 200mm \times 302mm$$

$$= 856,61mm^2$$

$$A_{s_{pakai}} = 1/4 \times \pi \times d^2 \times n$$

$$= 1/4 \times \pi \times 16^2 \times 5$$

$$\begin{aligned}
 &= 1005,31\text{mm}^2 \\
 S &= \frac{b-2xc-2x\phi-nxD}{n-1} \\
 &= \frac{200-2x30-2x10-5x16}{5-1} \\
 &= 10\text{mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s\text{perlu}} \leq A_{s\text{pakai}}$$

$$856,61\text{mm}^2 \leq 1005,31\text{mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$s \geq 25\text{mm}$$

$$10\text{mm} \leq 25\text{mm} \text{ (tidak memenuhi)}$$

Maka dipasang 2 lapis

Jadi, tulangan lentur pada balok anak yang dipakai adalah 5D16 pada daerah lapangan

Tabel 4.9 Pemasangan Tulangan Lentur Balok Anak

Daerah	Atas	bawah
Tumpuan	2 D16	2 D16
Lapangan	2 D16	5 D16

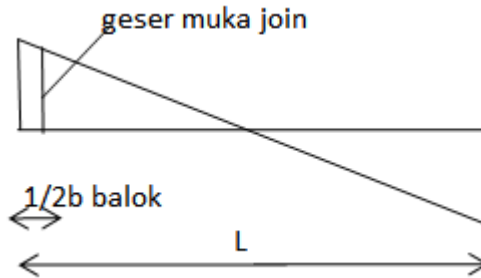
#### 4.2.3.4 Penulangan Geser Balok Anak

Pada perhitungan tulangan geser balok dibagi menjadi 2 yaitu di daerah tumpuan dan daerah lapangan.

##### 4.2.3.4.1 Darah Tumpuan

Diketahui gaya geser di perletakan adalah sebesar 7326,18kg. Tetapi gaya geser yang dipakai untuk perhitungan penulangan di tumpuan adalah gaya geser di muka join. Sehingga harus dihitung terlebih dahulu untuk mengetahui gaya geser di muka join.





Gambar 4.18 Gaya Geser Balok Anak pada Muka Join

Besarnya  $V_u$  pada muka join adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_u &= V_{u_{tumpuan}} - (1/2 \times q_u \times b_{balok}) \\
 &= 7326,18 \text{ kg} - (1/2 \times 3185,25 \text{ kg/m} \times 0,4 \text{ m}) \\
 &= 6689,117 \text{ kg} \\
 &= 66891,17 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan geser:

- Diameter polos,  $\emptyset$  = 10mm
- Spasi tulangan, s = 150mm
- Jumlah kaki = 2 kaki

Perhitungan kuat geser beton ( $V_c$ ) dan kuat geser tulangan ( $V_s$ ):

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 200 \times 302 \\
 &= 60746,31 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s,min} &= \frac{1}{3} b_w d \\
 &= \frac{1}{3} \times 200 \times 302
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 20133,33N \\
V_{s,max} &= 0,33\sqrt{f'_c}b_wd \\
&= 0,33x\sqrt{35}x200x302 \\
&= 117919,3N \\
2V_{s,max} &= 2x117919,3 \\
&= 235838,6N
\end{aligned}$$

Cek kondisi kuat geser:

$$\begin{aligned}
\text{Kondisi 1} &= V_u \leq 0,5\phi V_c \\
&= 66891,17N \leq 0,5x0,75x60746,31N \\
&= 66891,17N \leq 22779,87N \text{ (tidak memenuhi)} \\
\text{Kondisi 2} &= 0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \\
&= 22779,87N \leq 66891,17N \leq 0,75x60746,31N \\
&= 22779,87N \leq 66891,17N \leq 45559,73N \text{ (tidak memenuhi)} \\
\text{Kondisi 3} &= \phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,min}) \\
&= 45559,73N \leq 66891,17N \leq 0,75 (60746,31N + 20133,33N) \\
&= 45559,73N \leq 66891,17N \leq 60659,73N \text{ (tidak memenuhi)} \\
\text{Kondisi 4} &= \phi(V_c + V_{s,min}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,max}) \\
&= 60659,73N \leq 66891,17N \leq 0,75 (60746,31N + 117919,3N)
\end{aligned}$$

$$= 45559,73N \leq 66891,17N \leq 133999,2N$$

(memenuhi)

Karena kuat geser masuk pada kondisi 4, maka dibutuhkan tulangan geser

$$\begin{aligned} V_{s,perlu} &= (V_u - \phi V_c) / \phi \\ &= (66891,17 - 0,75 \times 60746,31) / 0,75 \\ &= 20133,33N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v,perlu} &= \frac{V_s \times s}{f_y \times d} \\ &= \frac{20133,33N \times 150mm}{240MPa \times 302mm} \\ &= 58,86mm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v,pakai} &= 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \\ &= 1/4 \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157,08mm^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{v,perlu} &\leq A_{v,pakai} \\ 58,86mm^2 &\leq 157,08mm^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 11.4.5.1 memberi syarat bahwa spasi antar tulangan geser tidak boleh melebihi  $d/2$

$$\begin{aligned} d/2 &= 302mm/2 \\ &= 151mm \end{aligned}$$

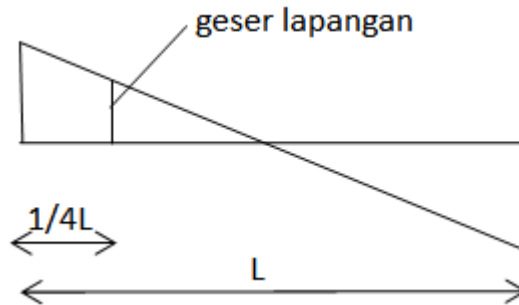
Kontrol spasi tulangan geser:

$$\begin{aligned} s_{pakai} &\leq d/2 \\ 150mm &\leq 151mm \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah tumpuan dipasang tulangan geser  $\emptyset 10$ -150

#### 4.2.3.4.2 Daerah Lapangan

Diketahui gaya geser di perletakan adalah sebesar 7326,18kg. Tetapi gaya geser yang dipakai untuk perhitungan penulangan di lapangan adalah gaya geser yang terletak di seperempat dari panjang total. Sehingga harus dihitung terlebih dahulu untuk mengetahui gaya geser di lapangan.



Gambar 4.19 Gaya Geser Balok Anak pada Daerah Lapangan

Besarnya  $V_u$  pada seperempat bentang balok adalah:

$$\begin{aligned}
 V_u &= Vu_{tumpuan} - (1/4 \times q_u \times L) \\
 &= 7326,18kg - (1/4 \times 3185,25kg/m \times 4,6m) \\
 &= 3663,0878kg \\
 &= 36630,878N
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan geser:

- Diameter polos,  $\emptyset$  = 10mm
- Spasi tulangan, s = 150mm
- Jumlah kaki = 2 kaki

Perhitungan kuat geser beton ( $V_c$ ) dan kuat geser tulangan ( $V_s$ ):

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17\lambda\sqrt{f_c'}b_wd \\
 &= 0,17x1\sqrt{35}x200x302 \\
 &= 60746,31N
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s,min} &= \frac{1}{3}b_wd \\
 &= \frac{1}{3}x200x302 \\
 &= 20133,33N
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s,max} &= 0,33\sqrt{f_c'}b_wd \\
 &= 0,33x\sqrt{35}x200x302 \\
 &= 117919,3N
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2V_{s,max} &= 2x117919,3 \\
 &= 235838,6N
 \end{aligned}$$

Cek kondisi kuat geser:

$$\begin{aligned}
 \text{Kondisi 1} &= V_u \leq 0,5\phi V_c \\
 &= 36630,878N \leq 0,5x0,75x60746,31N \\
 &= 36630,878N \leq 22779,87N \text{ (tidak memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kondisi 2} &= 0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \\
 &= 22779,87N \leq 36630,878N \leq 0,75x60746,31N \\
 &= 22779,87N \leq 36630,878N \leq 45559,73N \\
 &\text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Karena kuat geser masuk pada kondisi 2, maka dipasang tulangan geser minimum

$$\begin{aligned}
 A_{v,min} &= 0,35 \times b_w \times s / f_y \\
 &= 0,35 \times 200 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} / 240 \text{ MPa} \\
 &= 43,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v,pakai} &= 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \\
 &= 1/4 \times \pi \times 10^2 \times 2 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_{v,pertu} &\leq A_{v,pakai} \\
 43,75 \text{ mm}^2 &\leq 157,08 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 11.4.5.1 memberi syarat bahwa spasi antar tulangan geser tidak boleh melebihi  $d/2$

$$\begin{aligned}
 d/2 &= 302 \text{ mm} / 2 \\
 &= 151 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol spasi tulangan geser:

$$\begin{aligned}
 s_{pakai} &\leq d/2 \\
 150 \text{ mm} &\leq 151 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah lapangan dipasang tulangan geser  $\emptyset 10$ -150

Tabel 4.10 Pemasangan Tulangan Geser pada Balok Anak

Daerah	Tul. Sengkang
tumpuan	$\emptyset 10$ - 150
lapangan	$\emptyset 10$ - 150

Tabel 4.11 Rekapitulasi Penulangan Balok Anak

Tipe	L (m)	b/h	Tulangan Lentur				Tulangan Geser	
			Tumpuan		Lapangan		tumpuan	lapangan
			atas	bawah	atas	bawah		
BA1	4,95	20/35	2D16	2D16	2D16	3D16	$\emptyset 10$ -150	$\emptyset 10$ -150

BA2	2,60	20/30	2D16	2D16	2D16	2D16	Ø10-150	Ø10-150
BA3	5,25	20/35	2D16	2D16	2D16	3D16	Ø10-150	Ø10-150
BA4	3,00	20/30	2D16	2D16	2D16	2D16	Ø10-150	Ø10-150
BA5	2,35	20/30	2D16	2D16	2D16	2D16	Ø10-150	Ø10-150
BA6	4,60	20/35	2D16	2D16	2D16	5D16	Ø10-150	Ø10-150
BA7	4,55	20/35	2D16	2D16	2D16	5D16	Ø10-150	Ø10-150

#### 4.2.4 Perencanaan Balok Lift

Balok lift merupakan struktur sekunder yang berfungsi untuk menerima beban lift dan mesinnya. Lift yang digunakan untuk perencanaan adalah lift yang diproduksi dari Iris Lift.

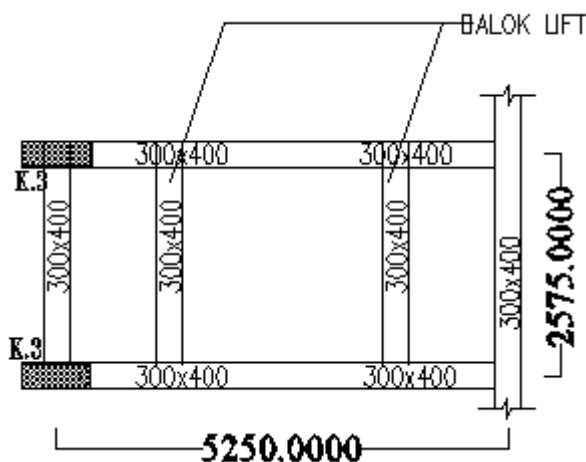
##### 4.2.4.1 Data Perencanaan

Adapun data-data perencanaan yang akan dipakai untuk perencanaan balok lift adalah sebagai berikut:

- Mutu beton,  $f_c'$  = 35 MPa
- Mutu baja lentur,  $f_y$  = 400 MPa
- Mutu baja geser,  $f_y$  = 240 MPa
- Panjang balok = 2600 mm
- Selimut beton, c = 30 mm

Adapun data-data lift yang dipakai, spesifikasinya adalah sebagai berikut:

- Kecepatan = 1 m/s
- Kapasitas orang = 24 orang
- Kapasitas beban = 1600 kg
- Denah sangkar lift:
  - Type = duplex
  - Dimesi lift = 5250 x 2450 mm<sup>2</sup>
- Reaksi Ruang Mesin:
  - R1 = 10200kg
  - R2 = 7000kg

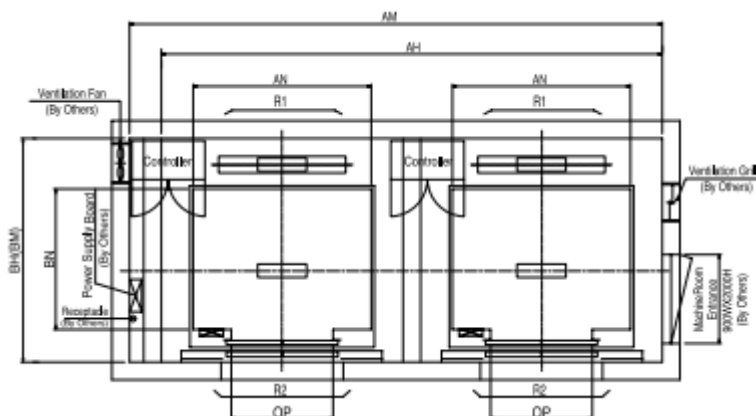


Gambar 4.20 Denah Pembalokan pada Ruang Lift

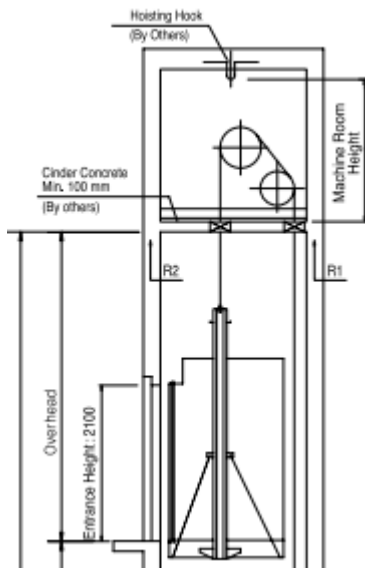
Tabel 4.12 Data Spesifikasi pada Brosur Iris Lift

Speed (m/s)	Capacity		Entrance Opening (mm)	Machine Room Size				Reaction Load(kg)			
				Simplex		Duplex		Machine Room		Pit	
	Person	Load(kg)		AM	BM	AM	BM	R1	R2	R3	R4
1.0	6	450	800	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	550	800	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	600	800	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	10	680	800	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	900	900	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1000	900	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	17	1150	1000	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
			1100	2550	2050	5250	2050				
	20	1350	1000	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2550	2200	5250	2200				
	24	1600	1100	2550	2450	5250	2450	10200	7000	10950	8700
				2700	2300	3350	2300				





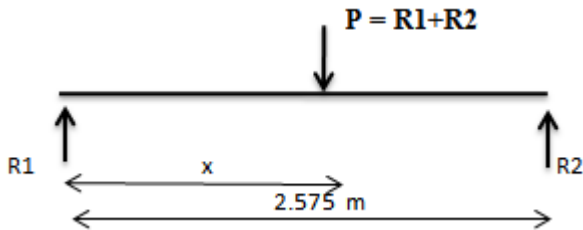
Gambar 4.21 Ukuran Denah pada Brosur Iris List tampak Atas



Gambar 4.22 Ukuran Denah pada Brosur Iris List tampak Samping

#### 4.2.4.2 Pembebanan Pada Balok Lift

Pembebanan pada balok lift sudah diketahui pada tabel brosur yaitu R1 sebesar 10200kg dan R2 sebesar 7000kg.



Gambar 4.23 Mekanika Teknik Balok Lift

$$\begin{aligned}
 P &= R1 + R2 \\
 &= 10200kg + 7000kg \\
 &= 17200kg
 \end{aligned}$$

$$\sum MR1 = 0$$

$$0 = (P \times X) - (R2 \times L)$$

$$0 = (17200kg \times X) - (7000kg \times 2,575m)$$

$$X = 1,05m$$

$$\begin{aligned}
 M_{max} &= R1 \times X \\
 &= 10200kg \times 1,05m \\
 &= 10689,24kgm
 \end{aligned}$$

$$V_{max} = 10200kg$$

#### 4.2.4.3 Penulangan Lentur Balok Lift

Pada perencanaan tulangan lentur balok lift, diketahui data-data perencanaan sebagai berikut:

- Lebar balok, b = 300mm

- Tinggi balok,  $h$  = 4000mm
- Selimut beton,  $c$  = 30mm
- $\beta = 0,85 - 0,05/7(f_c' - 28) = 0,8$
- $M_u$  = 10689,24kgm

Direncanakan tulangan lentur balok lift:

- Diameter,  $D$  = 16mm
- Jumlah tulangan,  $n$  = 5 buah

$$\begin{aligned}
 d &= h - c - \phi - 1/2D \\
 &= 4000\text{mm} - 30\text{mm} - 10\text{mm} - \frac{1}{2} \times 16\text{mm} \\
 &= 352\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_u / \phi \\
 &= 10689,24\text{kgm} / 0,9 \\
 &= 11876,9380\text{kgm} \\
 &= 118769380\text{Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{bxd^2} \\
 &= \frac{118769380\text{Nmm}}{300\text{mm} \times (352\text{mm})^2} \\
 &= 3,195\text{N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\
 &= \frac{400\text{MPa}}{0,85 \times 35\text{MPa}} \\
 &= 13,445
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{400\text{MPa}}
 \end{aligned}$$

$$= 0,0035$$

$$\rho_{max} = 0,5\rho_b$$

$$= 0,5 \times 0,85 \times \beta \times \left(\frac{f_c'}{f_y}\right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y}\right)$$

$$= 0,5 \times 0,85 \times 0,8 \times \left(\frac{35}{400}\right) \times \left(\frac{600}{600 + 400}\right)$$

$$= 0,018$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}\right)$$

$$= \frac{1}{13,445} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,445 \times 3,195}{400}}\right)$$

$$= 0,0085$$

Kontrol rasio tulangan:

$$\rho_{min} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{maks}$$

$$0,0035 \leq 0,0085 \leq 0,018 \text{ (memenuhi)}$$

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0085 \times 300 \text{ mm} \times 352 \text{ mm}$$

$$= 894,47 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{pakai}} = 1/4 \times \pi \times d^2 \times n$$

$$= 1/4 \times \pi \times 16^2 \times 5$$

$$= 1005,31 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{b - 2 \times c - 2 \times \emptyset - n \times D}{n - 1}$$

$$= \frac{300 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 5 \times 16}{5 - 1}$$

$$= 35mm$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s_{perlu}} \leq A_{s_{pakai}}$$

$$894,47mm^2 \leq 1005,31mm^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$s \geq 25mm$$

$$35mm \geq 25mm \text{ (memenuhi)}$$

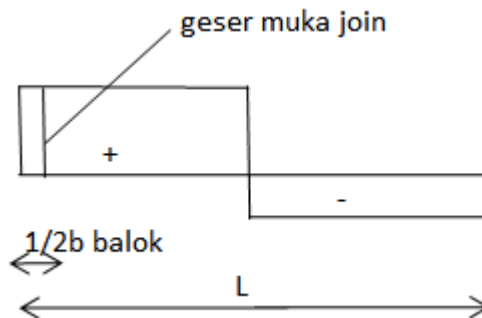
Jadi, tulangan lentur pada balok lift yang dipakai adalah 5D16 pada daerah lapangan

Tabel 4.13 Pemasangan Tulangan Lentur Balok Lift

Daerah	Atas	bawah
Tumpuan	2 D16	2 D16
Lapangan	2 D16	5 D16

#### 4.2.4.4 Penulangan Geser Balok Lift

Diketahui gaya geser di perletakan adalah sebesar 10200kg. Karena bidang geser daerah tumpuan sampai dengan lapangan besarnya sama, maka pemasangan tulangan geser di tumpuan maupun lapangan sama.



Gambar 4.24 Gaya Geser Balok lift pada Muka Join

Besarnya  $V_u$  pada muka join adalah sebagai berikut:

$$V_u = 102000N$$

Direncanakan tulangan geser:

- Diameter polos,  $\emptyset$  = 10mm
- Spasi tulangan, s = 150mm
- Jumlah kaki = 2 kaki

Perhitungan kuat geser beton ( $V_c$ ) dan kuat geser tulangan ( $V_s$ ):

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_wd \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 300 \times 352 \\ &= 106205,5N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s,min} &= \frac{1}{3}b_wd \\ &= \frac{1}{3} \times 300 \times 352 \\ &= 35200N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s,max} &= 0,33\sqrt{f'_c}b_wd \\ &= 0,33 \times \sqrt{35} \times 300 \times 352 \\ &= 206163,5N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_{s,max} &= 2 \times 206163,5 \\ &= 412327,1N \end{aligned}$$

Cek kondisi kuat geser:

$$\begin{aligned} \text{Kondisi 1} &= V_u \leq 0,5\emptyset V_c \\ &= 102000N \leq 0,5 \times 0,75 \times 106205,5N \\ &= 102000N \leq 39827,05N \text{ (tidak memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kondisi 2} &= 0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \\
 &= 39827,05N \leq 102000N \leq 0,75 \times 106205,5N \\
 &= 22779,87N \leq 102000N \leq 79654,1N \quad (\text{tidak memenuhi})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kondisi 3} &= \phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,min}) \\
 &= 79654,1N \leq 102000N \leq 0,75 (106205,5N + 35200N) \\
 &= 79654,1N \leq 102000N \leq 106504,1N \\
 &\quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Karena kuat geser masuk pada kondisi 3, maka dibutuhkan tulangan minimum

$$\begin{aligned}
 A_{v,min} &= 0,35x b_w x s / f_y \\
 &= 0,35 \times 300mm \times 150mm / 240MPa \\
 &= 66,625mm^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v,pakai} &= 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \\
 &= 1/4 \times \pi \times 10^2 \times 2 \\
 &= 157,08mm^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_{v,perlu} &\leq A_{v,pakai} \\
 66,625mm^2 &\leq 157,08mm^2 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 11.4.5.1 memberi syarat bahwa spasi antar tulangan geser tidak boleh melebihi  $d/2$

$$\begin{aligned}
 d/2 &= 352mm/2 \\
 &= 171mm
 \end{aligned}$$

Kontrol spasi tulangan geser:

$$s_{pakai} \leq d/2$$

$$150\text{mm} \leq 171\text{mm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah tumpuan dipasang tulangan geser  $\emptyset 10$ -150. Sedangkan pada daerah lapangan, tulangan geser dipasang sama dengan daerah tumpuan.

Tabel 4.14 Pemasangan Tulangan Geser pada Balok Lift

Daerah	Tul. Sengkang
tumpuan	$\emptyset 10$ - 150
lapangan	$\emptyset 10$ - 150

Tabel 4.15 Rekapitulasi Penulangan Balok Lift

Tipe	L (m)	b/h	Tulangan Lentur				Tulangan Geser	
			Tumpuan		Lapangan		tumpuan	lapangan
			atas	bawah	atas	bawah		
BL	2,58	30/40	2D16	2D16	2D16	5D16	$\emptyset 10$ -150	$\emptyset 10$ -150

## 4.2.5 Perencanaan Balok Bordes

Balok bordes merupakan elemen struktur yang berfungsi untuk menerima beban dari pelat bordes dan sebagian beban dari pelat tangga.

### 4.2.5.1 Data Perencanaan

Balok bordes yang akan dihitung adalah balok bordes tipe 1 (BB1) yang berada antara lantai LG dan lantai GF. Adapun data-data perencanaan yang akan dipakai untuk perencanaan balok bordes adalah sebagai berikut:

- Mutu beton,  $f'_c$  = 35 MPa
- Mutu baja lentur,  $f_y$  = 400 MPa
- Mutu baja geser,  $f_y$  = 240 MPa
- Panjang balok = 2600 mm
- Selimut beton, c = 30 mm

### 4.2.5.2 Pembebanan pada Balok Bordes



Beban yang diterima balok bordes terdiri dari beban dinding dan beban dari reaksi perletakan dari pelat bordes yang sudah dihitung pada sub bab sebelumnya.

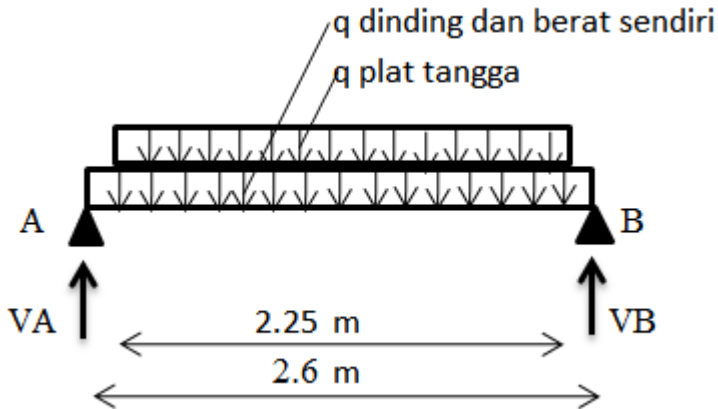
Pembebanan Balok Bordes:

Beban mati:

$$\begin{aligned}
 - \text{Berat sendiri} &= 0,3\text{m} \times 0,4\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3 = 288 \quad \text{kg/m} \\
 - \text{Dinding} &= 250\text{kg/m}^2 \times 1,75\text{m} = 437,5 \quad \text{kg/m} + \\
 \text{Total } q_D &= 725,5 \quad \text{kg/m}^2 \\
 \text{Total } 1,4D &= 1015,7 \quad \text{kg/m}
 \end{aligned}$$

Beban dari Reaksi Perletakan:

$$\begin{aligned}
 - \text{R.perletakan} &= 4801\text{kg} / 2,25\text{m} = 2133,78 \quad \text{kg/m} + \\
 \text{Total } q_P &= 2133,78 \quad \text{kg/m}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 4.25 Mekanika Teknik pada Balok Bordes

$$\begin{aligned}
 V_{max} &= VA = VB \\
 &= 1/2 \times 1015,7 \times 2,6 + 1/2 \times 2133,78 \times 2,25 \\
 &= 3720,91\text{kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{max} &= VAxL - 1/8xqxL^2 - 1/8xqxL^2 \\
 &= VAx2,6 - 1/8x1015,7x2,6^2 - 1/8x2133,78x2,25^2 \\
 &= 2628,625kgm
 \end{aligned}$$

#### 4.2.5.3 Penulangan Lentur Balok Bordes

Pada perencanaan tulangan lentur balok bordes, diketahui data-data perencanaan sebagai berikut:

- Lebar balok, b = 300mm
- Tinggi balok, h = 400mm
- Selimut beton, c = 30mm
- $\beta = 0,85 - 0,05/7(f_c' - 28) = 0,8$
- $M_u = 2628,625kgm$

Direncanakan tulangan lentur balok bordes:

- Diameter, D = 13mm
- Jumlah tulangan, n = 3 buah

$$\begin{aligned}
 d &= h - c - \phi - 1/2D \\
 &= 400mm - 30mm - 10mm - \frac{1}{2} \times 13mm \\
 &= 353,5mm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_u / \phi \\
 &= 2628,625kgm / 0,9 \\
 &= 2920,7058kgm \\
 &= 29207058Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{bxd^2} \\
 &= \frac{29207058Nmm}{300mm \times (353,5mm)^2} \\
 &= 0,779N/mm^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85x f_c'} \\
 &= \frac{400MPa}{0,85x 35MPa} \\
 &= 13,445
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{400MPa} \\
 &= 0,0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,5\rho_b \\
 &= 0,5x0,85x\beta x\left(\frac{f_c'}{f_y}\right)x\left(\frac{600}{600+f_y}\right) \\
 &= 0,5x0,85x0,8x\left(\frac{35}{400}\right)x\left(\frac{600}{600+400}\right) \\
 &= 0,018
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{pertu} &= \frac{1}{m}x\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2xm x R_n}{f_y}}\right) \\
 &= \frac{1}{13,445}x\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2x13,445x0,779}{400}}\right) \\
 &= 0,00197
 \end{aligned}$$

Kontrol rasio tulangan:

$$\rho_{min} \leq \rho_{pertu} \leq \rho_{maks}$$

$$0,0035 \leq 0,00197 \leq 0,018 \text{ (tidak memenuhi)}$$

Maka yang dipakai adalah  $\rho_{min}$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{pertu}} &= \rho x b x d \\
 &= 0,0035x300mmx353,5mm
 \end{aligned}$$

$$= 371,175mm^2$$

$$As_{pakai} = 1/4 \pi x d^2 x n$$

$$= 1/4 \pi x 13^2 x 3$$

$$= 398,197mm^2$$

$$s = \frac{b-2xc-2x\phi-nxD}{n-1}$$

$$= \frac{300-2x30-2x10-3x13}{3-1}$$

$$= 90,5mm$$

Kontrol luas tulangan:

$$As_{perlu} \leq As_{pakai}$$

$$371,175mm^2 \leq 398,197mm^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$s \geq 25mm$$

$$90,5mm \geq 25mm \text{ (memenuhi)}$$

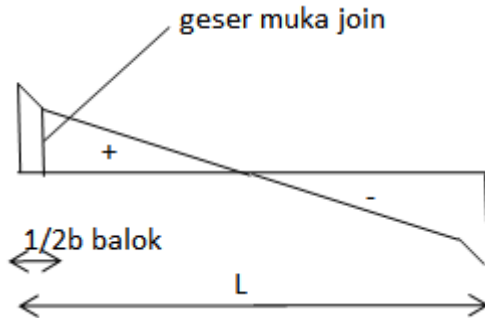
Jadi, tulangan lentur pada balok bordes yang dipakai adalah 3D13 pada daerah lapangan

Tabel 4.16 Pemasangan Tulangan Lentur Balok Bordes

Daerah	Atas	bawah
Tumpuan	2 D13	2 D13
Lapangan	2 D13	3 D13

#### 4.2.5.4 Penulangan Geser Balok Bordes

Diketahui gaya geser di perletakan adalah sebesar 3720,91kg. perhitungan akan dilakukan di daerah tumpuan dan lapangan. Untuk daerah tumpuan gaya geser yang diambil adalah di muka join, berikut ini adalah perhitungan tulangan geser pada balok bordes.



Gambar 4.26 Gaya Geser Balok Bordes pada Muka Join

Besarnya  $V_u$  pada muka join adalah sebagai berikut:

$$V_u = 37031,35N$$

Direncanakan tulangan geser:

- Diameter polos,  $\emptyset = 10\text{mm}$
- Spasi tulangan,  $s = 150\text{mm}$
- Jumlah kaki = 2 kaki

Perhitungan kuat geser beton ( $V_c$ ) dan kuat geser tulangan ( $V_s$ ):

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_wd \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 300 \times 353,5 \\ &= 106658N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s,min} &= \frac{1}{3}b_wd \\ &= \frac{1}{3} \times 300 \times 353,5 \\ &= 35350N \end{aligned}$$

$$V_{s,max} = 0,33\sqrt{f'_c}b_wd$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,33x\sqrt{35}x300x353,5 \\
 &= 207042,1N \\
 2V_{s,max} &= 2x207042,1 \\
 &= 414084,2N
 \end{aligned}$$

Cek kondisi kuat geser:

$$\begin{aligned}
 \text{Kondisi 1} &= V_u \leq 0,5\phi V_c \\
 &= 37031,35N \leq 0,5x0,75x106658N \\
 &= 37031,35N \leq 39996,77N \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Karena kuat geser masuk pada kondisi 3, maka tidak dibutuhkan tulangan geser. Tetapi karena tulangan geser wajib disediakan minimal dengan tulangan geser minimum, maka pada balok bordes akan dipasang tulangan geser minimum

$$\begin{aligned}
 A_{v,min} &= 0,35xb_ws/f_y \\
 &= 0,35x300mmx150mm/240MPa \\
 &= 66,625mm^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v,pakai} &= 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \\
 &= 1/4 \times \pi \times 10^2 \times 2 \\
 &= 157,08mm^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_{v,perlu} &\leq A_{v,pakai} \\
 66,625mm^2 &\leq 157,08mm^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 11.4.5.1 memberi syarat bahwa spasi antar tulangan geser tidak boleh melebihi  $d/2$

$$d/2 = 353,5mm/2$$

$$= 177\text{mm}$$

Kontrol spasi tulangan geser:

$$s_{pakai} \leq d/2$$

$$150\text{mm} \leq 171\text{mm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah tumpuan dipasang tulangan geser  $\emptyset 10$ -150. Sedangkan pada daerah lapangan, tulangan geser dipasang sama dengan daerah tumpuan.

Tabel 4.17 Pemasangan Tulangan Geser pada Balok Bordes

Daerah	Tul. Senggang
tumpuan	$\emptyset 10$ - 150
lapangan	$\emptyset 10$ - 150

Tabel 4.18 Rekapitulasi Penulangan Balok Bordes

Tipe	L (m)	b/h	Tulangan Lentur				Tulangan Geser	
			Tumpuan		Lapangan		tumpuan	lapangan
			atas	bawah	atas	bawah		
BB1	2,6	30/40	2D13	2D13	2D13	3D13	$\emptyset 10$ -150	$\emptyset 10$ -150
BB2	3	30/40	2D13	2D13	2D13	3D13	$\emptyset 10$ -150	$\emptyset 10$ -150

### 4.3 Pembebanan

Pembebanan pada struktur terdiri dari beban gravitasi, beban angin, dan beban gempa. Pembebanan gravitasi dan angin mengacu pada SNI 1727-2013 dan PPIUG 1983, sedangkan untuk perhitungan beban gempa, mengacu pada SNI 1726-2012. Pembebanan dilakukan setelah permodelan pada SAP 2000 selesai. SAP yang sudah dibebani akan dikontrol terhadap gaya geser dasar (V), periode (T), simpangan ( $\delta$ ), partisipasi massa. Karena pada tugas akhir ini, perencanaan menggunakan sistem ganda, maka SAP juga harus dikontrol terhadap sistem ganda.

#### 4.3.1 Beban Gravitasi

Beban gravitasi terdiri dari beban sendiri struktur, beban mati tambahan, dan beban hidup. Beban mati dan beban hidup besarnya tergantung pada fungsi bangunan. Pada tugas akhir ini,

bangunan yang direncanakan adalah bangunan apartemen. Berikut ini adalah total besarnya beban gravitasi tiap lantai yang dihitung secara manual.

Tabel 4.19 Berat Total Beban Gravitasi

Lantai	h	hx	Beban Mati	Beban Hidup	Total Beban
	(m)	(m)	(kg)	(kg)	(kg)
GF	3.5	3.5	1571745.9	228513.9	1800259.7
1	3.25	6.75	1501760.7	240239.5	1742000.2
2	2.8	9.55	1452892.9	239845.7	1692738.5
3	2.8	12.35	1430044.9	239845.7	1669890.5
4	2.8	15.15	1430044.9	239845.7	1669890.5
5	2.8	17.95	1430044.9	239845.7	1669890.5
6	2.8	20.75	1430044.9	239845.7	1669890.5
7	2.8	23.55	1407196.9	239845.7	1647042.5
8	2.8	26.35	1407196.9	239845.7	1647042.5
9	2.8	29.15	1407196.9	239845.7	1647042.5
10	2.8	31.95	1407196.9	239845.7	1647042.5
11	2.8	34.75	1379779.3	239845.7	1619624.9
12	2.8	37.55	1379779.3	239845.7	1619624.9
13	2.8	40.35	1379779.3	239845.7	1619624.9
14	2.8	43.15	1379779.3	239845.7	1619624.9
15	2.8	45.95	1361500.9	239845.7	1601346.5
16	2.8	48.75	1362550.9	239845.7	1602396.5
17	2.8	51.55	1307735.8	345292.7	1653028.5
18	3	54.55	1211171.3	409500.2	1620671.5
19	2.8	57.35	700778.4	110431.0	811209.4
20	2.8	60.15	717528.4	110431.0	827959.4



Atap	3	63.15	661073.4	62658.4	723731.9
TOTAL			28716822.4	5104752.0	33821574.4

Beban gravitasi ini akan digunakan untuk perhitungan beban gempa. Kombinasi beban gravitasi yang digunakan untuk menghitung beban gempa adalah  $1D+0,5L$ .

$$\begin{aligned}
 1D + 0,5L &= 28716822,4kg + 0,5 \times 5104752kg \\
 &= 31269198kg
 \end{aligned}$$

Sedangkan total beban gravitasi dari SAP dengan kombinasi adalah  $33178990kg$ . Prosentase selisih antara beban gravitasi dari SAP dan perhitungan manual adalah 1,90%.

### 4.3.2 Beban Angin

Beban angin merupakan beban lateral yang terjadi pada struktur gedung. Untuk perhitungan beban angin hanya dihitung kecepatan angin dasar dan koefisien-koefisien beban angin yang nantinya akan dimasukkan ke dalam SAP.

#### 4.3.2.1 Menentukan Kategori Bangunan

Bangunan harus ditentukan kategorinya terlebih dahulu sebelum menghitung beban angin.

Data Perencanaan:

- Fungsi Bangunan = Apartemen
- Tinggi Bangunan,  $h$  = 63,15 m
- Lebar bangunan,  $L$  = 25,4 m
- Panjang Bangunan,  $P$  = 64,85 m
- Jumlah Lantai = 23 Lantai
- Jenis Atap = datar ( $\alpha=0$ )

Pada SNI 1727-2013 pasal 26.2 memberi syarat apakah termasuk bangunan bertingkat rendah atau bangunan bertingkat tinggi tergantung pada syarat berikut:

1.  $h \leq 18m$   
 $63,15m \geq 18m$  (tidak memenuhi)
2.  $h \leq L$  atau  $P$  (yang terkecil)  
 $63,15m \geq 25,4m$  (tidak memenuhi)

Maka bangunan dikategorikan sebagai bangunan bertingkat tinggi. Bangunan Apartemen ini diasumsikan sebagai bangunan tertutup karena strukturnya sebagian besar tertutup oleh dinding baik dinding setengah bata maupun dinding geser.

Pada SNI 1727-2013 pasal 26.2 memberi syarat apakah termasuk bangunan kaku apabila memenuhi syarat:

$$n_a \geq 1Hz$$

Dimana  $n_a$  merupakan frekuensi alami perkiraan yang dihitung berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.9.3. tetapi pasal 26.9.2.1 memberi syarat perhitungan boleh dilakukan dari pasal 26.9.3 apabila memenuhi syarat berikut:

$$\begin{aligned}
 L_{eff} &= \frac{\sum_{i=1}^n h_i L_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \\
 &= \frac{(3,5 \times 25,4) + (3,25 \times 25,4) + (18 \times 2,8 \times 25,4) + (2 \times 3 \times 25,4)}{64,9} \\
 &= 24,7m
 \end{aligned}$$

1.  $h \leq 91m$   
 $63,15m \leq 91m$  (memenuhi)
2.  $h \leq 4L_{eff}$   
 $64,9m \leq 4 \times 24,7m$   
 $64,9m \leq 98,9m$  (memenuhi)

Maka perhitungan frekuensi alami perkiraan berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.9.3 untuk bangunan dinding geser beton adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
C_w &= \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^n \left( \frac{h}{h_i} \right)^2 \frac{A_i}{\left[ 1 + 0,83 \left( \frac{h_i}{D_i} \right)^2 \right]} \\
&= \frac{100}{17730} \sum_{i=1}^n \left( \frac{63,15}{63,15} \right)^2 \frac{181,48}{\left[ 1 + 0,83 \left( \frac{63,15}{184,34} \right)^2 \right]} \\
&= 0,46 \\
n_a &= 385(C_w)^{0,5}/h \\
&= 385(0,46)^{0,5}/63,15 \\
&= 1,26
\end{aligned}$$

Kontrol:

$$n_a \geq 1Hz$$

$$1,26 \geq 1Hz \text{ (memenuhi)}$$

Maka dikategorikan sebagai bangunan gedung struktur kaku.

Dari syarat-syarat yang sudah terpenuhi di atas, bangunan gedung apartemen yang direncanakan dalam tugas akhir ini termasuk dalam kategori bangunan bertingkat tinggi, bangunan tertutup, dan bangunan gedung struktur kaku.

#### 4.3.2.2 Perhitungan Beban Angin

Langkah-langkah dalam perhitungan beban angin telah ditetapkan dalam SNI 1727-2013 gambar 26.1-1 atau dalam tabel 27.2-1.

##### 1. Menentukan Kecepatan Angin dasar ( $V$ )

Kecepatan angin diambil dari BMKG untuk daerah bekasi adalah sebesar 5,28m/s atau sebesar 11,8mph

##### 2. Menentukan Faktor arah Angin ( $K_d$ )

Pada SNI 1727-2013 tabel 26.6-1 untuk kategori bangunan gedung sistem penahan beban angin utama adalah sebesar 0,85

3. Menentukan Kategori Eksposur  
Pada SNI 1727-2013 pasal 26.7.2 untuk bangunan yang terletak di daerah perkotaan atau pinggiran kota termasuk dalam kategori eksposur B
4. Menentukan Faktor Topografi ( $K_{zt}$ )  
Pada SNI 1727-2013 pasal 26.8 nilai  $K_{zt}$  diambil sebesar 1
5. Menentukan Faktor Pengaruh Tiupan Angin ( $G$ )  
Pada SNI 1727-2013 pasal 26.9.1 menjelaskan faktor efek-tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85
6. Menentukan Klasifikasi Ketertutupan  
Dari penentuan kategori kategori bangunan gedung yang telah ditentukan pada subbab sebelumnya, bangunan gedung ini dikategorikan sebagai bangunan gedung tertutup.
7. Menentukan Koefisien Tekanan Internal ( $GC_{pi}$ )  
Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 26.11, untuk kategori bangunan gedung tertutup memiliki nilai koefisien tekanan internal,  $GC_{pi}$  sebesar 0,18
8. Menghitung Koefisien Tekanan Eksternal ( $K_z$  dan  $K_h$ )  
Berdasarkan SNI 1727-2013 tabel 27.3-1 untuk bangunan gedung dengan tinggi 64,9m atau 213ft dan memiliki kategori eksposur B,  $K_z$  dapat ditentukan dari rumus berikut:

Pada tabel 26.9-1 untuk kategori eksposur B memiliki nilai

$$\alpha = 7$$

$$Z_g = 1200ft$$

$$15ft \leq z \leq z_g$$

$$15ft \leq 213ft \leq 1200ft \text{ (memenuhi)}$$

Maka rumus yang digunakan untuk menghitung  $K_z$  adalah

$$\begin{aligned} K_z &= 2,01(z/z_g)^{2/\alpha} \\ &= 2,01(63,15/1200)^{2/7} \\ &= 1,2169 \end{aligned}$$

Untuk bangunan dengan atap datar, maka nilai  $K_z$  diambil sama dengan nilai  $K_h$

9. Menghitung Tekanan Velositas ( $q_z$ )

Berdasarkan SNI 1727-2013 pasal 27.3.2 menjelaskan untuk tekanan velositas,  $q_z$  dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} q_z &= 0,613K_zK_{zt}K_dV^2 \\ &= 0,613 \times 1,2169 \times 1 \times 0,85 \times 5,28^2 \\ &= 17,66 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Untuk bangunan dengan atap datar, maka nilai  $q_z$  diambil sama dengan nilai  $q_h$

10. Menghitung Tekanan Eksternal ( $C_p$  atau  $C_n$ )

Perhitungan nilai  $C_p$  atau  $C_n$  dapat ditentukan dari SNI 1727-2013 tabel 27.4-1

Tabel 4.20 Nilai Tekanan Eksternal  $C_p$  dan Tekanan Velositas  $q_z$

Koefisien Tekanan Dinding ( $C_p$ )					
Permukaan	L/B	$C_p$	Digunakan dengan	q	qi
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	$q_z$	17,66	0

Dinding di sisi angin pergi	0,39	-0,5	$q_h$	17,66	0
Dinding tepi	Seluruh nilai	-0,7	$q_h$	17,8	0

Setelah mendapatkan nilai-nilai koefisien dan kecepatan angin, maka nilai tersebut dapat dimasukkan ke dalam program bantu SAP dan beban angin akan terhitung dengan sendirinya.

### 4.3.3 Beban Gempa

Perhitungan beban gempa pada tugas akhir ini menggunakan respons dinamik yang mengacu pada SNI 1726-2012. Langkah-langkah dalam menentukan perhitungan beban gempa menggunakan respons spektrum adalah sebagai berikut.

1. Menentukan SPT Rata-rata untuk 30 meter Paling Atas ( $\bar{N}$ )  
Dari data tanah yang telah diketahui, dihitung nilai SPT pada setiap lapisan lalu dihitung nilai SPT rata-rata untuk kedalaman 30 meter paling atas seperti pada tabel berikut

Tabel 4.21 Perbandingan Tebal lapisan dengan Nilai SPT Rata-rata Tiap Lapisan

DATA SPT (GWL 0.7m)				
Lapisan ke-	Tebal Lapisan (d)	Jenis Tanah	Nilai SPT (N)	di/Ni
1	2	Clay	4	0.5
2	2	Cemented Sand	33	0.060606
3	2	Cemented Silt	31	0.064516
4	2	Silt	30	0.066667
5	2	Silt	32	0.0625
6	2	Cemented Silt	50	0.04

7	2	Cemented Sand	41	0.04878
8	2	Silt	34	0.058824
9	2	Cemented Silt	50	0.04
10	2	Cemented Sand	50	0.04
11	2	Cemented Sand	50	0.04
12	2	Sand	42	0.047619
13	2	Cemented Sand	50	0.04
14	4	Cemented Sand	50	0.08
15	2	Cemented Sand	50	0.04
16	2	Cemented Silt	34	0.058824
17	2	Clay	24	0.083333
18	2	Silty Clay	22	0.090909
19	2	Cemented Silt	35	0.057143
$\Sigma$	40			1.519721

$$\sum_{i=1}^n d_i = 40$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i} = 1,5197$$

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

$$= \frac{40}{1,5197}$$

$$= 26,32$$

2. Menentukan Klasifikasi Situs

Berdasarkan SNI 1726-2012 tabel 3, untuk nilai  $\bar{N}$  antara 15 sampai 50, maka termasuk pada kelas situs SD (tanah sedang)

3. Menentukan Parameter Percepatan Respons ( $S_s$  dan  $S_1$ )

Nilai  $S_s$  dan  $S_1$  dapat dilihat pada SNI 1726-2102 gambar 9 dan gambar 10. Untuk daerah bekasi, nilai  $S_s = 0,7$  dan nilai  $S_1 = 0,25$

4. Menentukan Koefisien Situs ( $F_a$  dan  $F_v$ )

Berdasarkan SNI 1726-2012 tabel 4 dan tabel 5, dapat ditentukan nilai  $F_a$  dan  $F_v$  untuk kelas situs SD dan melakukan interpolasi linear untuk nilai  $S_s$  dan  $S_1$ . Nilai  $F_a = 1,24$  dan nilai  $F_v = 1,9$

5. Menghitung Parameter Percepatan Respons yang Sudah Disesuaikan terhadap Pengaruh Kelas Situs ( $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$ )

Nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$  dapat dihitung berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.2 dengan rumus sebagai berikut

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a S_s \\ &= 1,24 \times 0,7 \\ &= 0,868 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v S_1 \\ &= 1,9 \times 0,25 \\ &= 0,475 \end{aligned}$$

6. Menghitung Parameter Percepatan Respons Spektral ( $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ )

Nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  dapat dihitung berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.3 dengan rumus sebagai berikut

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS}$$



$$= 2/3 \times 0,868$$

$$= 0,579$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1}$$

$$= 2/3 \times 0,475$$

$$= 0,317$$

#### 7. Menentukan Respons Spektrum Desain

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.4, untuk membuat respons spektrum desain, harus memenuhi syarat berikut ini:

- Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

- Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$ , dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$
- Untuk perioda lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{DS}}{T}$$

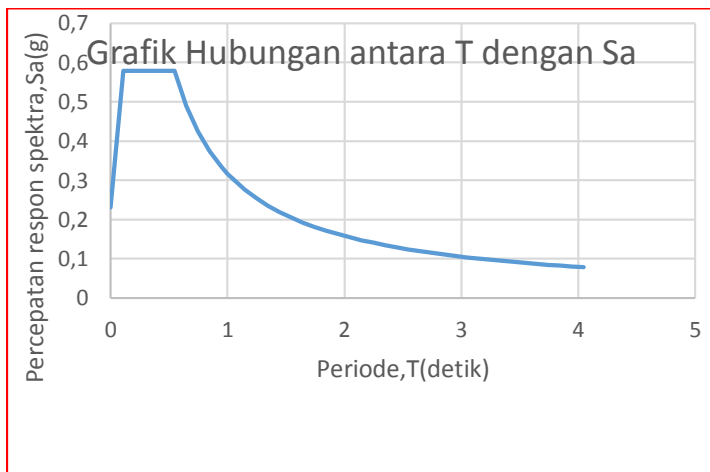
Dari persyaratan tersebut, dapat dibuat tabel dan grafik hubungan antara perioda ( $T$ ) dan spektrum respons percepatan desain.

Tabel 4.22 Hubungan Antara Perioda dengan Spektrum Respons Percepatan Desain

T (detik)	T(detik)	Sa(g)
0	0	0.231467
To	0.10945	0.578667
Ts	0.54724	0.578667

Ts+0.1	0.64724	0.489261
Ts+0.2	0.74724	0.423785
Ts+0.3	0.84724	0.373765
Ts+0.4	0.94724	0.334306
1	1	0.316667
Ts+0.5	1.04724	0.302384
Ts+0.6	1.14724	0.276026
Ts+0.7	1.24724	0.253895
Ts+0.8	1.34724	0.235049
Ts+0.9	1.44724	0.218808
Ts+1.0	1.54724	0.204666
Ts+1.1	1.64724	0.192241
Ts+1.2	1.74724	0.181239
Ts+1.3	1.84724	0.171427
Ts+1.4	1.94724	0.162624
Ts+1.5	2.04724	0.15468
Ts+1.6	2.14724	0.147476
Ts+1.7	2.24724	0.140914
Ts+1.8	2.34724	0.134911
Ts+1.9	2.44724	0.129398
Ts+2.0	2.54724	0.124318
Ts+2.1	2.64724	0.119622
Ts+2.2	2.74724	0.115267
Ts+2.3	2.84724	0.111219
Ts+2.4	2.94724	0.107445
Ts+2.5	3.04724	0.103919
Ts+2.6	3.14724	0.100617
Ts+2.7	3.24724	0.097519
Ts+2.8	3.34724	0.094605

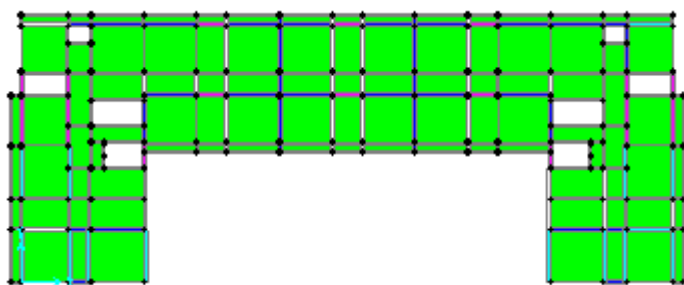
Ts+2.9	3.44724	0.091861
Ts+3.0	3.54724	0.089271
Ts+3.1	3.64724	0.086824
Ts+3.2	3.74724	0.084507
Ts+3.3	3.84724	0.08231
Ts+3.4	3.94724	0.080225
Ts+3.5	4.04724	0.078243



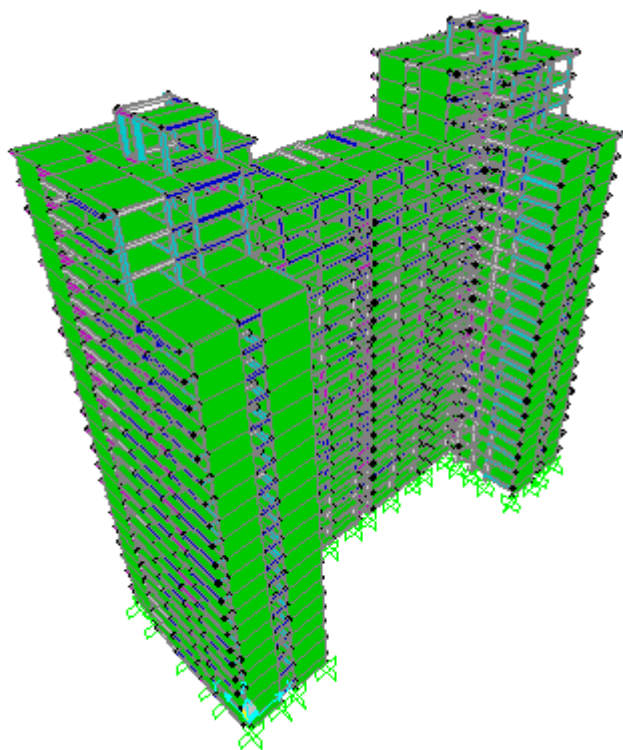
Gambar 4.27 Grafik Hubungan Antara Periode ( $T$ ) dengan Spektrum Respons Percepatan desain ( $S_a$ )

#### 4.4 Pemodelan dan Analisa Struktur

Analisa struktur menggunakan program bantu SAP 2000 yang bertujuan untuk memperoleh gaya-gaya dalam yang nantinya akan digunakan untuk perencanaan elemen struktur. SAP yang sudah dimodelkan akan diberi beban-beban yang telah dihitung (beban gravitasi, beban angin, dan beban gempa).



Gambar 4.28 Permodelan Struktur Tampak Atas



Gambar 4.29 Permodelan Struktur 3D

Data Perencanaan:

- Fungsi Bangunan = Apartemen
- Tinggi Bangunan,  $h$  = 63,15 m
- Lebar bangunan,  $L$  = 25,4 m
- Panjang Bangunan,  $P$  = 64,85 m
- Jumlah Lantai = 23 Lantai

Grafik respons spektrum desain yang telah dibuat, akan dimasukkan dalam program bantu SAP 2000 sebagai beban gempa respons dinamik. Setelah diinput dalam SAP, struktur harus dianalisa dan dikontrol terhadap gaya dasar, periode, simpangan, dan partisipasi massa. Sebelumnya, harus ditentukan terlebih dahulu sistem struktur yang digunakan dalam perencanaan berdasarkan SNI 1726-2012 tabel 6 dan tabel 7.

Tabel 4.23 Penentuan KDS Berdasarkan  $S_{DS}$

Nilai $S_{DS}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	<b>D</b>	D

Tabel 4.24 Penentuan KDS Berdasarkan  $S_{D1}$

Nilai $S_{D1}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	<b>D</b>	D

Dari data yang telah dihitung, diketahui  $S_{DS} = 0,579$  dan  $S_{D1} = 0,317$ . Berdasarkan SNI 1726-2012 tabel 1, bangunan apartemen termasuk pada kategori risiko I. sehingga dapat ditentukan bahwa Kategori Desain Seismik (KDS) termasuk pada KDS D.

Tabel 4.25 Faktor  $R$ ,  $C_d$ ,  $\Omega^a$  Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem Penahan Gaya Seismik	$R^a$	$\Omega^a$	$C_d^b$	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, $h_n$ (m) <sup>c</sup>				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	$D^d$	$E^d$	$F^e$
<b>Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan</b>								
Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
<b>Dinding geser beton bertulang khusus</b>	<b>7</b>	<b>2,5</b>	<b>5,5</b>	<b>TB</b>	<b>TB</b>	<b>TB</b>	<b>TB</b>	<b>TB</b>
Dinding geser beton bertulang biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2,5	4	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris khusus	6	2,5	5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7,5	2,5	6	TB	TB	TB	TB	TB

Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2,5	6	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata bertulang khusus	5,5	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3,5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2,5	5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser pelat baja khusus	8	2,5	6,5	TB	TB	TB	TB	TB

KDS D untuk sistem ganda harus mensyaratkan memakai dinding geser beton bertulang khusus dengan faktor  $R = 7$ ,  $\Omega^a = 2,5$ , dan  $C_d = 5,5$

#### 4.4.1 Periode Fundamental Struktur, $T$

SNI 1726-2012 menjelaskan bahwa dalam menghitung periode fundamental struktur, diijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan,  $T_a$  untuk struktur dinding geser dengan melihat rumus berikut (Fauzi, Wahyuni, Suswanto. 2018; Fitriyah, Suprobo, Wahyuni. 2017).

$$T_a = \frac{0,0062}{\sqrt{C_w}} h_n$$

Dengan  $C_w$  dapat dihitung menurut rumus sebagai berikut

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \left( \frac{h_n}{h_i} \right)^2 \frac{A_i}{\left[ 1 + 0,83 \left( \frac{h_i}{D_i} \right)^2 \right]}$$

Dimana,

$A_B$  = luas dasar struktur ( $m^2$ )

$A_i$  = luas badan dinding geser ( $m^2$ )

$D_i$  = panjang dinding geser (m)

$h_i$  = tinggi dinding geser (m)

$h_n$  = ketinggian struktur bangunan (m)

Untuk perhitungan  $C_w$  arah x adalah sebagai berikut

$$C_{wx} = \frac{100}{1087,5} \times \left[ 2 \left( \frac{63,1}{63,1} \right)^2 \frac{1,365}{\left[ 1 + 0,83 \left( \frac{63,1}{4,55} \right)^2 \right]} + 2 \left( \frac{63,1}{63,1} \right)^2 \frac{1,38}{\left[ 1 + 0,83 \left( \frac{63,1}{4,6} \right)^2 \right]} \right]$$

$$= 0,003172$$

$$C_{wy} = \frac{100}{1087,5} \times \left[ 1 \left( \frac{63,1}{56,3} \right)^2 \frac{1,38}{\left[ 1 + 0,83 \left( \frac{56,3}{4,6} \right)^2 \right]} + 1 \left( \frac{64,9}{56,3} \right)^2 \frac{1,365}{\left[ 1 + 0,83 \left( \frac{56,3}{4,55} \right)^2 \right]} + \right.$$

$$\left. 2 \left( \frac{63,1}{56,3} \right)^2 \frac{1,575}{\left[ 1 + 0,83 \left( \frac{56,3}{5,25} \right)^2 \right]} \right]$$

$$= 0,006285$$

Setelah mendapatkan nilai  $C_w$ , dapat menghitung perioda fundamental struktur,  $T_a$  seperti yang dituliskan sebagai berikut

$$T_{ax} = \frac{0,0062}{\sqrt{0,003172}} 63,15$$

$$= 6,95 \text{ detik}$$

$$T_{ay} = \frac{0,0062}{\sqrt{0,006285}} 63,15$$

$$= 4,94 \text{ detik}$$

SNI 1726-2012 pasal 7.8.2 menyebutkan bahwa perioda fundamental struktur,  $T$ , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung,  $C_u$ , dan perioda



fundamental pendekatan,  $T_a$ . Nilai  $C_u$  dapat dilihat pada SNI 1726-2012 tabel 14. Diketahui nilai  $S_{D1} = 0,317$ , sehingga nilai  $C_u$  untuk  $S_{D1}$  antara 0,3 sampai dengan 0,4 adalah 1,4. Diketahui nilai  $T$  dari SAP adalah sebesar 2,746.

Kontrol periode untuk arah x:

$$\begin{aligned} T &\leq C_u \times T_{ax} \\ 2,746 &\leq 1,4 \times 6,95 \\ 2,746 &\leq 9,73 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol periode untuk arah y:

$$\begin{aligned} T &\leq C_u \times T_{ay} \\ 2,746 &\leq 1,4 \times 4,93 \\ 2,746 &\leq 6,91 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Maka, perioda fundamental struktur,  $T$ , pada SAP sudah dapat dikatakan benar.

#### 4.4.2 Gaya Geser Dasar, $V$

SNI 1726-2012 menjelaskan bahwa gaya geser dasar,  $V$ , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut (Pambudi, Wahyuni, Sidharta. 2017; Yuliana, Iranata, Wahyuni. 2017).

$$V = C_s W$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

Dimana,

$$\begin{aligned} W &= \text{berat struktur bangunan kombinasi 1D + 0,5L} \\ &= 33178990 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$S_{DS} = \text{parameter percepatan respons spektral} = 0,579$$

$$R = \text{faktor modifikasi respons} = 7$$

$$I_e = \text{faktor keutamaan gempa} = 1 \text{ (SNI 1726-2012 tabel 2)}$$

$$C_s = \text{koefisien respons seismik}$$

$$\begin{aligned}
 C_s &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} \\
 &= \frac{0,579}{\left(\frac{7}{1}\right)} \\
 &= 0,083
 \end{aligned}$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung tidak boleh melebihi berikut ini

$$\begin{aligned}
 C_s &\leq \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \\
 0,083 &\leq \frac{0,317}{2,98\left(\frac{7}{1}\right)}
 \end{aligned}$$

$$0,083 \leq 0,015 \text{ (tidak memenuhi)}$$

Dan tidak boleh kurang dari berikut ini

$$\begin{aligned}
 C_s &\geq 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \\
 0,083 &\geq 0,044 \times 0,579 \times 1 \geq 0,01 \\
 0,083 &\geq 0,025 \geq 0,01 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Karena persyaratan maksimum nilainya kurang dari persyaratan minimum, maka yang diambil adalah dari persyaratan minimum

$$C_s = 0,025$$

Sehingga nilai gaya geser dasar adalah:

$$\begin{aligned}
 V &= C_s W \\
 &= 0,025 \times 33178990 \text{ kg} \\
 &= 844781,3 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.9.4.1 menjelaskan bahwa kombinasi repons untuk geser dasar ragam ( $V_t$ ) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung ( $V$ ) menggunakan prosedur

gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan  $0,85 V/V_t$ . Dari hasil analisa struktur menggunakan program bantu SAP 2000 didapatkan gaya geser dasar ragam ( $V_t$ ) sebagai berikut:

Tabel 4.26 Gaya Geser Dasar Ragam ( $V_t$ )

Output Case	Case type	$V_t$ (kgf)
Gempa X	Respons Spektrum	428263,4
Gempa Y	Respons Spektrum	469100,4

Kontrol V arah x:

$$\begin{aligned}
 V_{xt} &\geq 0,85V \\
 428263,4kg &\geq 0,85 \times 844781,3kg \\
 428263,4kg &\leq 718064,129kg \quad (\text{tidak memenuhi})
 \end{aligned}$$

Kontrol V arah y:

$$\begin{aligned}
 V_{yt} &\geq 0,85V \\
 469100,4kg &\geq 0,85 \times 844781,3kg \\
 469100,4kg &\leq 718064,129kg \quad (\text{tidak memenuhi})
 \end{aligned}$$

Maka gaya geser harus diperbesar dengan faktor skala  $0,85 V/V_t$  seperti berikut ini

$$\begin{aligned}
 \frac{0,855 \times V}{V_{xt}} &= \frac{718064,129kg}{428263,4kg} \\
 &= 1,6766883 \\
 \frac{0,855 \times V}{V_{yt}} &= \frac{718064,129kg}{469100,4kg} \\
 &= 1,530726
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan faktor skala untuk masing-masing arah, selanjutnya skala faktor tersebut dikalikan dengan *scale factor* pada *define respons spectrum* di dalam SAP. Kemudian SAP di

running sehingga muncul gaya geser dasar ragam yang baru dengan nilai sebagai berikut

Tabel 4.27 Gaya Geser Dasar Ragam ( $V_t$ ) Setelah Dikalikan Faktor Skala

Output Case	Case type	$V_t$ (kgf)
Gempa X	Respons Spektrum	718064,129
Gempa Y	Respons Spektrum	718064,129

Kontrol V arah x:

$$\begin{aligned}
 V_{xt} &\geq 0,85V \\
 718064,13kg &\geq 0,85 \times 844781,3kg \\
 718064,13kg &\leq 718064,129kg \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Kontrol V arah y:

$$\begin{aligned}
 V_{yt} &\geq 0,85V \\
 718064,13kg &\geq 0,85 \times 844781,3kg \\
 718064,13kg &\leq 718064,129kg \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Maka gaya geser dasar ragam dapat digunakan sebagai beban gempa desain.

#### 4.4.3 Sistem Ganda

SNI 1726-2012 pasal 7.2.5.1 menjelaskan untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa desain (Kusumowibowo, Wahyuni. 2017; Klana, Irmawan, Wahyuni. 2017). Tahanan gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser. Prosentase antara rangka pemikul momen dan dinding geser yang memikul beban gempa dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.28 Prosentase Antara Dinding Geser dan Rangka dalam Memikul Beban Gempa

No	Beban	Prosentase dalam Menahan Beban
----	-------	--------------------------------

		Gempa	
		Dinding Geser	Rangka
1	Gempa X	74,94%	25,06%
2	Gempa Y	70,26%	29,74%

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa rangka yang memikul beban gempa sudah melebihi 25 persen sehingga syarat sistem ganda dapat digunakan.

#### 4.4.4 Simpangan (Drift)

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.6 menuliskan perumusan untuk menentukan simpangan antar lantai seperti yang dituliskan sebagai berikut (Zaky, Wahyuni, Isdarmanu. 2017).

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Dimana,

$C_d$  = faktor amplifikasi defleksi

$\delta_{xe}$  = defleksi pada lantai ke-x

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

SNI 1726-2012 pasal 7.12.1 menjelaskan mengenai simpangan ijin antar lantai untuk struktur dinding geser beton dapat dilihat pada tabel 16 SNI 1726-2012 atau yang dijelaskan seperti tabel berikut.

Tabel 4.29 Simpangan Ijin Antar Lantai Untuk Beberapa Macam Sistem Struktur

Struktur	Kategori resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$

didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat			
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Dari tabel di atas, sistem ganda kombinasi antara dinding geser beton dan rangka pemikul momen termasuk pada Semua Struktur Lainnya. Gedung apartemen termasuk pada kategori resiko II sehingga untuk nilai simpangan ijin adalah

$$\Delta_a = 0,020h_{sx}$$

Simpangan ijin antar lantai dengan tinggi tiap lantai yang berbeda-beda dapat dituliskan pada tabel berikut

Tabel 4.30 Simpangan Ijin Antar Kantai

Tingkat	$h_{sx}$ (mm)	$\Delta_a$ (mm)
LG	0	0
GF	3500	70
1	3250	65
2-17	2800	56
18	3000	60
19-20	2800	56
Atap	3000	60

Setelah menghitung simpangan ijin, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai simpangan yang terjadi antar lantai, kemudian dikontrol simpangan yang terjadi tidak boleh melenihi simpangan ijin. Simpangan yang dikontrol adalah simpangan pada join kolom dengan memilih nilai simpangan yang maksimum lalu dikontrol simpangan antar lantainya. Simpangan dikontrol terhadap beban gempa arah X dan Gempa arah Y.

Tabel 4. 31 Kontrol Simpangan Antar Lantai Terhadap Gempa Arah X

Lt.	hi (m)	hsx (m)	$\delta e$ (mm)	Cd . $\delta e$ (mm)	$\Delta i - \Delta(i-1)$ (mm)	$\Delta a$ (mm)	Kontrol
LG	0.65	0	0	0	0	0	OK
GF	4.15	3.5	1.428	7.85	7.85	70	OK
1	7.4	3.25	3.886	21.37	13.52	65	OK
2	10.2	2.8	6.521	35.87	14.49	56	OK
3	13	2.8	9.54	52.47	16.60	56	OK
4	15.8	2.8	12.79	70.35	17.88	56	OK
5	18.6	2.8	16.183	89.01	18.66	56	OK
6	21.4	2.8	19.643	108.84	19.03	56	OK
7	24.2	2.8	23.156	127.36	19.32	56	OK
8	27	2.8	26.657	146.61	19.26	56	OK
9	29.8	2.8	30.127	165.70	19.09	56	OK
10	32.6	2.8	33.526	184.39	18.69	56	OK
11	35.4	2.8	36.916	203.34	18.65	56	OK
12	38.2	2.8	40.2	221.10	18.06	56	OK
13	41	2.8	43.382	238.60	17.50	56	OK
14	43.8	2.8	46.447	255.46	16.86	56	OK
15	46.6	2.8	49.428	271.85	16.40	56	OK
16	49.4	2.8	52.298	287.64	15.79	56	OK
17	52.2	2.8	55.074	302.91	15.27	56	OK
18	55.2	3	57.987	318.93	16.02	60	OK
19	58	2.8	60.479	332.63	13.71	56	OK
20	60.8	2.8	62.594	344.27	11.63	56	OK
Atap	63.8	3	64.337	353.85	9.59	60	OK

Tabel 4.32 Kontrol Simpangan Antar Lantai Terhadap Gempa Arah Y

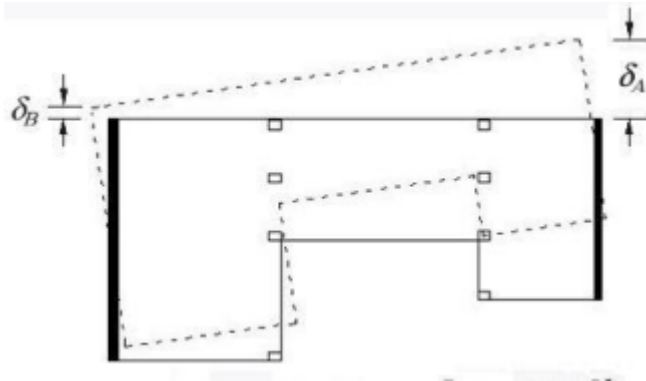
Lt.	hi (m)	hsx (m)	$\delta e$ (mm)	$Cd \cdot \delta e$ (mm)	$\Delta i - \Delta(i-1)$ (mm)	$\Delta a$ (mm)	Kontrol
LG	0.65	0	0	0	0	0	OK
GF	4.15	3.5	1.104	6.07	6.07	70	OK
1	7.4	3.25	3.031	16.67	10.60	65	OK
2	10.2	2.8	5.133	28.23	11.56	56	OK
3	13	2.8	7.58	41.69	13.46	56	OK
4	15.8	2.8	10.246	56.35	14.66	56	OK
5	18.6	2.8	13.055	71.80	15.45	56	OK
6	21.4	2.8	15.938	87.66	15.86	56	OK
7	24.2	2.8	18.882	103.85	16.19	56	OK
8	27	2.8	21.82	120.01	16.16	56	OK
9	29.8	2.8	24.737	136.05	16.04	56	OK
10	32.6	2.8	27.603	151.82	15.76	56	OK
11	35.4	2.8	30.454	167.50	15.68	56	OK
12	38.2	2.8	33.233	182.78	15.28	56	OK
13	41	2.8	35.943	197.69	14.91	56	OK
14	43.8	2.8	38.571	212.14	14.45	56	OK
15	46.6	2.8	41.149	226.32	14.18	56	OK
16	49.4	2.8	43.644	240.04	13.72	56	OK
17	52.2	2.8	46.069	253.38	13.34	56	OK
18	55.2	3	48.615	267.38	14.00	60	OK
19	58	2.8	51.00	280.50	13.12	56	OK
20	60.8	2.8	53.336	293.46	12.96	56	OK
Atap	63.8	3	55.828	307.05	13.60	60	OK

Dari tabel di atas nilai simpangan tidak ada yang melebihi simpangan ijin, sehingga struktur sudah memenuhi persyaratan.



#### 4.4.5 Ketidakberaturan Torsi

SNI 1726-2012 pasal 7.2.5.4 menyebutkan bahwa struktur yang menggunakan dinding geser beton bertulang khusus, tidak boleh mempunyai ketidakberaturan torsi yang berlebihan seperti didefinisikan dalam tabel 10 SNI 1726-2012 (ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1b).



Gambar 4.30 Ketidakberaturan Torsi Pada Struktur

Dari perhitungan simpangan didapatkan:

$$\delta_{max} = 64,337mm$$

$$\delta_A = 64,337mm$$

$$\delta_B = 55,828mm$$

$$\begin{aligned}\delta_{rata-rata} &= \frac{\delta_A + \delta_B}{2} \\ &= \frac{64,337mm + 55,828mm}{2} \\ &= 60,0825mm\end{aligned}$$

Kontrol:

$$\delta_{max} \leq 1,2\delta_{rata-rata}$$

$$\begin{aligned}
 64,337mm &\leq 1,2 \times 60,0825mm \\
 64,337mm &\leq 72,099mm \quad (\text{memenuhi}) \\
 \delta_{max} &\leq 1,4\delta_{rata-rata} \\
 64,337mm &\leq 1,4 \times 60,0825mm \\
 64,337mm &\leq 84,116mm \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Maka struktur tidak mengalami ketidakberaturan torsi tipe A dan tipe B.

#### 4.4.6 Partisipasi Massa

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.9.1 menjelaskan bahwa analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi terbesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual pada masing-masing arah yaitu arah X dan arah Y (Budiono, Wahyuni, Isdarmanu. 2017).

Tabel 4.33 Partisipasi Massa dalam Arah X dan Arah Y

OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	2.746046	0.559	3.136E-09
MODAL	Mode	2	2.403183	0.559	0.708
MODAL	Mode	3	2.065875	0.704	0.708
MODAL	Mode	4	0.855012	0.797	0.708
MODAL	Mode	5	0.721087	0.797	0.849
MODAL	Mode	6	0.580052	0.827	0.849
MODAL	Mode	7	0.464111	0.886	0.849
MODAL	Mode	8	0.360577	0.886	0.897
MODAL	Mode	9	0.270457	0.886	0.923
<b>MODAL</b>	<b>Mode</b>	<b>10</b>	<b>0.215175</b>	<b>0.964</b>	<b>0.923</b>
MODAL	Mode	11	0.144684	0.964	0.981

Dari tabel di atas dapat dikatakan bahwa jumlah ragam sudah mencapai 90 persen baik arah X maupun arah Y.

#### 4.5 Perencanaan Struktur Primer

Struktur primer merupakan struktur yang menahan kekuatan sepenuhnya dari suatu struktur gedung akibat beban-beban yang terjadi terutama beban gempa. Beban-beban yang diterima oleh struktur primer terdiri dari beban gravitasi, beban angin, dan beban gempa. Dalam perencanaan struktur primer terdiri dari perencanaan penulangan balok induk non-pratekan, kolom, dinding geser, hubungan balok kolom, dan perencanaan balok pratekan. Perencanaan struktur primer menggunakan syarat rangka pemikul momen khusus dan dinding struktur beton khusus.

##### 4.5.1 Perencanaan Balok Induk Non-Pratekan

Balok induk merupakan elemen struktur primer yang menahan beban gravitasi dari pelat dan beban tambahan termasuk dinding, dan juga menahan beban gempa. Beban yang diterima balok induk akan disalurkan ke kolom (Ramadhani, Raka, Tavo. 2017).

###### 4.5.1.1 Data Perencanaan

Pada perencanaan balok induk yang akan dihitung adalah balok induk melintang tipe 1 (BIL1). Adapun data-data perencanaan yang diketahui adalah sebagai berikut

- Mutu beton,  $f_c'$  = 35 MPa
- Mutu baja lentur,  $f_y$  = 400 MPa
- Mutu baja geser,  $f_y$  = 240 MPa
- Panjang balok = 5250 mm
- Selimut beton,  $c$  = 40 mm
- Lebar balok = 400 mm
- Tinggi balok = 600 mm
- $\beta = 0,85 - 0,05/7(f_c' - 28)$  = 0,8

menurut SNI 2847-2013 pasal 21.5.1 untuk komponen struktur rangka pemikul momen khusus yang membentuk bagian sistem penahan gempa harus memenuhi kondisi-kondisi sebagai berikut:

- gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur,  $P_u$ , tidak boleh melebihi  $A_g f_c' / 10$

$$\begin{aligned} P_u &\leq A_g f_c' / 10 \\ 555599,8N &\leq 400mm \times 600mm \times 35MPa / 10 \\ 737773,9N &\leq 84000N \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

- bentang bersih untuk komponen struktur,  $l_n$ , tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya

$$\begin{aligned} d &= h - c - \emptyset - 1/2D \\ &= 600mm - 40mm - 12mm - \frac{1}{2} \times 19mm \\ &= 538,5mm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_n &= 5250mm - 400mm - 300mm \\ &= 4900mm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_n &\geq 4d \\ 4900mm &\geq 4 \times 538,5mm \\ 4900mm &\geq 2154mm \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

- lebar komponen,  $b_w$ , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari  $0,3h$  dan 250mm

$$\begin{aligned} b_w &\geq 0,3h \text{ atau } 250mm \\ 400mm &\geq 0,3 \times 600mm \text{ atau } 250mm \\ 400mm &\geq 180mm \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

- lebar komponen struktur,  $b_w$ , tidak boleh melebihi lebar komponen struktur penumpu,  $c_2$ , ditambah suatu jarak pada masing-masing sisi komponen struktur penumpu yang sama dengan yang lebih kecil dari berikut ini

- lebar komponen struktur penumpu,  $c_2 = 500mm$

- 0,75 kali dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu,  $0,75 \times c_1 = 0,75 \times 400\text{mm} = 300\text{mm}$

$$\begin{aligned} b_w &\leq c_2 + c_2 \text{ atau } c_2 + 0,75c_1 \\ 400\text{mm} &\leq 500 + 500 \text{ atau } 500 + 300 \\ 400\text{mm} &\leq 800\text{mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

#### 4.5.1.2 Penulangan Torsi Balok Induk

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5.1 pengaruh torsi harus dicek apakah pengaruh torsi diabaikan atau tidak. Untuk komponen struktur non-prategang menggunakan persamaan berikut

$$T_u \leq \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Dimana,

$A_{cp}$  = luas penampang solid ( $\text{mm}^2$ )

$P_{cp}$  = keliling luar penampang beton (mm)

$f'_c$  = kuat tekan beton (MPa)

$$\begin{aligned} A_{cp} &= 400\text{mm} \times 600\text{mm} \\ &= 240000\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (400\text{mm} + 600\text{mm}) \\ &= 2000\text{mm} \end{aligned}$$

Nilai  $T_u$  diperoleh dari SAP dengan kombinasi envelope yaitu

$$T_u = 14928200\text{Nmm}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} T_u &\leq \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ 14928200\text{Nmm} &\leq 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{35} \left( \frac{240000^2}{2000} \right) \\ 14928200\text{Nmm} &\geq 10606348\text{Nmm} \quad (\text{tidak memenuhi}) \end{aligned}$$

Maka pengaruh puntir tidak boleh diabaikan dan harus dihitung penulangannya karena melebihi torsi terkecil yang terdeteksi (threshold).

Torsi pada balok induk yang direncanakan termasuk torsi kompatibilitas, sehingga nilai torsi,  $T_u$  boleh direduksi menurut SNI 2847-2013 pasal 11.5.2.2 untuk balok non-prategang adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_u &\leq 0,33\lambda\sqrt{f'_c}\left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right) \\ 14928200Nmm &\leq 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{35}\left(\frac{240000^2}{2000}\right) \\ 14928200Nmm &\leq 42169817Nmm \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka nilai  $T_u$  yang dipakai adalah 14928200Nmm

SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.5 menjelaskan apabila  $T_u$  melebihi torsi terkecil yang terdeteksi (threshold), maka desain penampang berdasarkan pada

$$\begin{aligned} \phi T_n &\geq T_u \\ T_n &= \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta \\ T_u / \phi &= \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.6 menjelaskan bahwa nilai  $A_o$  boleh diambil sama dengan  $0,85A_{oh}$ . Dan nilai  $\theta$  untuk komponen struktur non-prategang diambil sebesar  $45^\circ$ . Sehingga untuk mencari luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan torsi,  $A_t$  dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$A_t = \frac{1,7 \times T_u \times s}{\phi \times 1,7 \times A_{oh} \times f_{yt} \times \cot \theta}$$

Dimana,

$A_{oh}$  = luas yang dibatasi tulangan sengkang torsi terluar (mm<sup>2</sup>)

$f_{yt}$  = kuat leleh tulangan transversal (MPa)

$\theta$  = sudut antara sumbu strat, diagonal tekan, atau bidang tekan kord tarik komponen struktur

Apabila direncanakan:

$$s = 100mm$$

$$A_{oh} = (400 - 2 \times 40 - 2 \times 12) \times (600 - 2 \times 40 - 2 \times 12)$$

$$A_{oh} = 146816mm^2$$

$$A_t = \frac{1,7 \times 14928200 \times 100}{0,75 \times 1,7 \times 146816 \times 240 \times \cot 45}$$

$$= 33,23mm^2$$

SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7 menjelaskan mengenai luas tulangan longitudinal yang diperlukan adalah sebagai berikut.

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left( \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

Dimana,

$P_h$  = keliling yang dibatasi tulangan sengkang torsi terluar (mm)

$f_{yt}$  = kuat leleh tulangan transversal (MPa)

$f_y$  = kuat leleh tulangan longitudinal (MPa)

$$P_h = 2 \times [(400 - 2 \times 40 - 2 \times 12) \times (600 - 2 \times 40 - 2 \times 12)]$$

$$= 1584mm^2$$

Sehingga nilai  $A_l$  dapat dihitung seperti berikut ini

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left( \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

$$= \frac{33,23}{100} 1584 \left( \frac{240}{400} \right) \cot^2 45$$

$$= 315,81mm^2$$

SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.3 menjelaskan bahwa luas tulangan torsi longitudinal,  $A_t$ , tidak boleh kurang dari:

$$A_{l,min} = \frac{0,42\sqrt{f_c'}A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right)P_h \frac{f_{yt}}{f_y}$$

Dimana nilai  $A_t/s$  tidak boleh kurang dari  $0,175b_w/f_{yt}$

$$\begin{aligned} A_t/s &\geq 0,17b_w/f_{yt} \\ 33,23/100 &\geq 0,17 \times 400/240 \\ 0,33 &\geq 0,292 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Sehingga nilai  $A_{l,min}$  adalah:

$$\begin{aligned} A_{l,min} &= \frac{0,42\sqrt{f_c'}A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right)P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \\ &= \frac{0,42\sqrt{35} \ 240000}{400} - (0,33)1584 \frac{240}{400} \\ &= 1175,05mm^2 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} A_{l,min} &\leq A_t \\ 1175,05mm^2 &\geq 315,81mm^2 \quad (\text{tidak memenuhi}) \end{aligned}$$

Maka, luasan torsi longitudinal yang diperlukan adalah sebesar  $1175,05mm^2$ .

Luasan tulangan torsi longitudinal tersebut merupakan luasan dalam seluruh penampang beton. Sedangkan untuk menghitung luasan torsi longitudinal murni, maka luasan tersebut dibagi 2 untuk dipasang ke sisi kanan dan sisi kiri penampang beton.

$$\begin{aligned} A_{l,perlu} &= 1/2A_t \\ &= 1/2 \times 1175,05mm^2 \\ &= 587,52mm^2 \end{aligned}$$



Direncanakan tulangan torsi longitudinal:

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 2 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_{l,pakai} &= 1/4 \times \pi \times D^2 \times n \\ &= 1/4 \times \pi \times 22^2 \times 2 \\ &= 760,27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} A_{l,pakai} &\geq A_{l,perlu} \\ 760,27 \text{ mm}^2 &\geq 587,52 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Maka tulangan torsi longitudinal yang dipakai adalah 2D22

#### 4.5.1.3 Penulangan Lentur Balok Induk

Perencanaan tulangan lentur balok dibagi menjadi 2, yaitu pada daerah tumpuan dan daerah lapangan.

##### 4.5.1.3.1 Penulangan Lentur Balok Daerah Tumpuan

Momen terbesar diambil dari SAP pada kombinasi envelope. Terdapat 2 kondisi yaitu pada saat momen terbesar pada serat atas beton (momen negatif) dan momen terbesar pada serat bawah beton (momen positif).

#### Perhitungan Tulangan Akibat Momen Negatif

$$M_u(-) = 19765,71 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \phi \\ &= 19765,71 \text{ kgm} / 0,9 \\ &= 21961,9 \text{ kgm} \\ &= 219619000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{219619000 Nmm}{400mm \times (538,5mm)^2} \\
&= 1,89 N/mm^2 \\
m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \\
&= \frac{400MPa}{0,85 \times 35MPa} \\
&= 13,445 \\
\rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
&= \frac{1,4}{400MPa} \\
&= 0,0035 \\
\rho_{max} &= 0,5\rho_b \\
&= 0,5 \times 0,85 \times \beta \times \left(\frac{f_{c'}}{f_y}\right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y}\right) \\
&= 0,5 \times 0,85 \times 0,8 \times \left(\frac{35}{400}\right) \times \left(\frac{600}{600 + 400}\right) \\
&= 0,018 \\
\rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}\right) \\
&= \frac{1}{13,445} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,445 \times 1,89}{400}}\right) \\
&= 0,0049
\end{aligned}$$

Kontrol rasio tulangan:

$$\rho_{min} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{maks}$$

$$0,0035 \leq 0,0049 \leq 0,018 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho x b x d \\
 &= 0,0049 \times 400 \text{ mm} \times 538,5 \text{ mm} \\
 &= 1054,77 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas tulangan,  $A_s$ , ditambahkan seperempat tulangan torsi longitudinal,  $A_l$ , sehingga luasan tulangan yang diperlukan untuk menahan tarik pada bagian beton adalah

$$\begin{aligned}
 A_{s,perlu} &= A_s + 1/4 A_l \\
 &= 1054,77 \text{ mm}^2 + 1/4 \times 1175,05 \text{ mm}^2 \\
 &= 1348,04 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur pada bagian atas daerah tumpuan balok:

$$D = 19 \text{ mm}$$

$$n = 5 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,pakai} &= 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \\
 &= 1/4 \times \pi \times 19^2 \times 5 \\
 &= 1417,6437 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - 2x_c - 2x_\emptyset - nxD}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 5 \times 19}{5 - 1} \\
 &= 50,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_{s,perlu} &\leq A_{s,pakai} \\
 1348,04 \text{ mm}^2 &\leq 1417,6437 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$s \geq 25 \text{ mm}$$

$$50,25mm \geq 25mm \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Momen Kapasitas:

$$\begin{aligned} a &= A_s f_y / 0,85 f_c' b \\ &= 1417,64 \times 400 / 0,85 \times 35 \times 400 \\ &= 47,65mm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 f_c' a b (d - a/2) \\ &= 0,85 \times 35 \times 47,65 \times 400 \times (538,5 - 47,65/2) \\ &= 291849770Nmm \end{aligned}$$

$$M_n \geq M_u / \phi$$

$$291849770Nmm \geq 219619000Nmm \text{ (memenuhi)}$$

SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.2 menyebutkan bahwa kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka join.

$$\begin{aligned} A'_{s,pertu} &= 1/2 A_{s,pakai} \\ &= 1/2 \times 1417,6437mm^2 \\ &= 708,82mm^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur pada bagian bawah daerah tumpuan balok:

$$\begin{aligned} D &= 19 \text{ mm} \\ n &= 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A'_{s,pakai} &= 1/4 \pi x d^2 x n \\ &= 1/4 \pi x 19^2 x 4 \\ &= 1134,1149mm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b-2xc-2x\phi-nxD}{n-1} \\
 &= \frac{400-2x40-2x12-4x19}{4-1} \\
 &= 73,33mm
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 As'_{perlu} &\leq As'_{pakai} \\
 708,82mm^2 &\leq 1134,1149mm^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned}
 s &\geq 25mm \\
 73,33mm &\geq 25mm \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

#### Perhitungan Tulangan Akibat Momen Positif

$$\begin{aligned}
 M_u(+) &= 13718,1kgm \\
 M_n &= M_u/\phi \\
 &= 13718,1kgm/0,9 \\
 &= 15243,4444kgm \\
 &= 152434444Nmm \\
 R_n &= \frac{M_n}{bxd^2} \\
 &= \frac{152434444Nmm}{400mmx(538,5mm)^2} \\
 &= 1,314N/mm^2 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85xf_c'} \\
 &= \frac{400MPa}{0,85x35MPa} \\
 &= 13,445
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{400MPa} \\
 &= 0,0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,5\rho_b \\
 &= 0,5 \times 0,85 \times \beta_x \left( \frac{f_c'}{f_y} \right) x \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0,5 \times 0,85 \times 0,8 x \left( \frac{35}{400} \right) x \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\
 &= 0,018
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} x \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2xmR_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{13,445} x \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,445 \times 1,314}{400}} \right) \\
 &= 0,0034
 \end{aligned}$$

Kontrol rasio tulangan:

$$\rho_{min} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{maks}$$

$$0,0035 \geq 0,0034 \leq 0,018 \text{ (tidak memenuhi)}$$

Maka yang dipakai adalah  $\rho_{min}$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho b x d \\
 &= 0,0035 \times 400 \text{ mm} \times 538,5 \text{ mm} \\
 &= 753,9 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas tulangan,  $A_s$ , ditambahkan seperempat tulangan torsi longitudinal,  $A_l$ , sehingga luasan tulangan yang diperlukan untuk menahan tarik pada bagian beton adalah

$$\begin{aligned}
 A_{s,perlu} &= A_s + 1/4 A_l \\
 &= 753,9 \text{ mm}^2 + 1/4 \times 1175,05 \text{ mm}^2 \\
 &= 1047,66 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur pada bagian bawah daerah tumpuan balok:

$$D = 19 \text{ mm}$$

$$n = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,pakai} &= 1/4 \pi x d^2 x n \\
 &= 1/4 \pi x 19^2 x 4 \\
 &= 1134,1149 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - 2xc - 2x\phi - nx D}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - 2x40 - 2x12 - 4x19}{4 - 1} \\
 &= 73,33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s,perlu} \leq A_{s,pakai}$$

$$1047,66 \text{ mm}^2 \leq 1134,1149 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$s \geq 25 \text{ mm}$$

$$73,33 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Momen Kapasitas:

$$\begin{aligned}
 a &= A_s f_y / 0,85 f_c' b \\
 &= 1134,1149 \times 400 / 0,85 \times 35 \times 400 \\
 &= 38,12 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 0,85f_c'ab(d - a/2) \\
 &= 0,85 \times 35 \times 38,12 \times 400 \times (538,5 - 38,12/2) \\
 &= 235641525Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &\geq M_u/\phi \\
 235641525Nmm &\geq 152434444Nmm \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah tumpuan dipasang tulangan lentur pada bagian atas 5D19 dan bagian bawah 4D19

#### 4.5.1.3.2 Penulangan Lentur Balok Daerah Lapangan

Momen terbesar diambil dari SAP pada kombinasi envelope. Terdapat 2 kondisi yaitu pada saat momen terbesar pada serat atas beton (momen negatif) dan momen terbesar pada serat bawah beton (momen positif).

##### Perhitungan Tulangan Akibat Momen Positif

$$M_u(+) = 13719,1kgm$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_u/\phi \\
 &= 13719,1kgm/0,9 \\
 &= 15243,4444kgm \\
 &= 152434444Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{bxd^2} \\
 &= \frac{152434444Nmm}{400mm \times (538,5mm)^2} \\
 &= 1,31N/mm^2
 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85f_c'}$$



$$= \frac{400MPa}{0,85 \times 35MPa}$$

$$= 13,445$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= \frac{1,4}{400MPa}$$

$$= 0,0035$$

$$\rho_{max} = 0,5\rho_b$$

$$= 0,5 \times 0,85 \times \beta \times \left(\frac{f_{c'}}{f_y}\right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y}\right)$$

$$= 0,5 \times 0,85 \times 0,8 \times \left(\frac{35}{400}\right) \times \left(\frac{600}{600 + 400}\right)$$

$$= 0,018$$

$$\rho_{pertu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}\right)$$

$$= \frac{1}{13,445} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,445 \times 1,31}{400}}\right)$$

$$= 0,0033$$

Kontrol rasio tulangan:

$$\rho_{min} \leq \rho_{pertu} \leq \rho_{maks}$$

$$0,0035 \geq 0,0033 \leq 0,018 \text{ (tidak memenuhi)}$$

Maka yang dipakai adalah  $\rho_{min}$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 400mm \times 538,5mm$$

$$= 753,9mm^2$$

Luas tulangan,  $A_s$ , ditambahkan seperempat tulangan torsi longitudinal,  $A_l$ , sehingga luasan tulangan yang diperlukan untuk menahan tarik pada bagian beton adalah

$$\begin{aligned} A_{s,perlu} &= A_s + 1/4 A_l \\ &= 753,9 \text{ mm}^2 + 1/4 \times 1175,05 \text{ mm}^2 \\ &= 1047,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur pada bagian bawah daerah lapangan balok:

$$D = 19 \text{ mm}$$

$$n = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_{s,pakai} &= 1/4 \pi x d^2 x n \\ &= 1/4 \pi x 19^2 x 4 \\ &= 1134,1149 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{b - 2xc - 2x\phi - nx D}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2x40 - 2x12 - 4x19}{4 - 1} \\ &= 73,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s,perlu} \leq A_{s,pakai}$$

$$1047,66 \text{ mm}^2 \leq 1134,1149 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$s \geq 25 \text{ mm}$$

$$73,33 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Momen Kapasitas:

$$a = A_s f_y / 0,85 f_c' b$$

$$= 1134,1149 \times 400 / 0,85 \times 35 \times 400$$

$$= 38,12mm$$

$$M_n = 0,85f_c'ab(d - a/2)$$

$$= 0,85 \times 35 \times 38,12 \times 400 \times (538,5 - 38,12/2)$$

$$= 235641525Nmm$$

$$M_n \geq M_u/\phi$$

$$235641525Nmm \geq 152434444Nmm \text{ (memenuhi)}$$

#### Perhitungan Tulangan Akibat Momen Negatif

$$M_u(-) = 2947,73kgm$$

$$M_n = M_u/\phi$$

$$= 2947,73kgm/0,9$$

$$= 3275,2556kgm$$

$$= 32752556Nmm$$

$$R_n = \frac{M_n}{bxd^2}$$

$$= \frac{32752556Nmm}{400mm \times (538,5mm)^2}$$

$$= 0,282N/mm^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85f_c'}$$

$$= \frac{400MPa}{0,85 \times 35MPa}$$

$$= 13,445$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1,4}{400MPa} \\
&= 0,0035 \\
\rho_{max} &= 0,5\rho_b \\
&= 0,5 \times 0,85 \times \beta \times \left(\frac{f_c'}{f_y}\right) \times \left(\frac{600}{600+f_y}\right) \\
&= 0,5 \times 0,85 \times 0,8 \times \left(\frac{35}{400}\right) \times \left(\frac{600}{600+400}\right) \\
&= 0,018 \\
\rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}\right) \\
&= \frac{1}{13,445} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,445 \times 0,282}{400}}\right) \\
&= 0,0007
\end{aligned}$$

Kontrol rasio tulangan:

$$\rho_{min} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{maks}$$

$$0,0035 \geq 0,0007 \leq 0,018 \text{ (tidak memenuhi)}$$

Maka yang dipakai adalah  $\rho_{min}$

$$\begin{aligned}
A_s &= \rho \times b \times d \\
&= 0,0035 \times 400 \text{ mm} \times 538,5 \text{ mm} \\
&= 753,9 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Luas tulangan,  $A_s$ , ditambahkan seperempat tulangan torsi longitudinal,  $A_l$ , sehingga luasan tulangan yang diperlukan untuk menahan tarik pada bagian beton adalah

$$\begin{aligned}
A_{s,perlu} &= A_s + 1/4 A_l \\
&= 753,9 \text{ mm}^2 + 1/4 \times 849,397 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$= 966,249mm^2$$

Direncanakan tulangan lentur pada bagian atas daerah lapangan balok:

$$D = 19 \text{ mm}$$

$$n = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{pakai}} &= 1/4 \pi x d^2 x n \\ &= 1/4 \pi x 19^2 x 4 \\ &= 1134,1149mm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{b - 2xc - 2x\phi - nx D}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2x40 - 2x12 - 4x19}{4 - 1} \\ &= 73,33mm \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s_{perlu}} \leq A_{s_{pakai}}$$

$$966,249mm^2 \leq 1134,1149mm^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$s \geq 25mm$$

$$73,33mm \geq 25mm \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Momen Kapasitas:

$$\begin{aligned} a &= A_s f_y / 0,85 f_c' b \\ &= 1134,1149 x 400 / 0,85 x 35 x 400 \\ &= 38,12mm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 f_c' a b (d - a/2) \\ &= 0,85 x 35 x 38,12 x 400 x (538,5 - 38,12/2) \end{aligned}$$

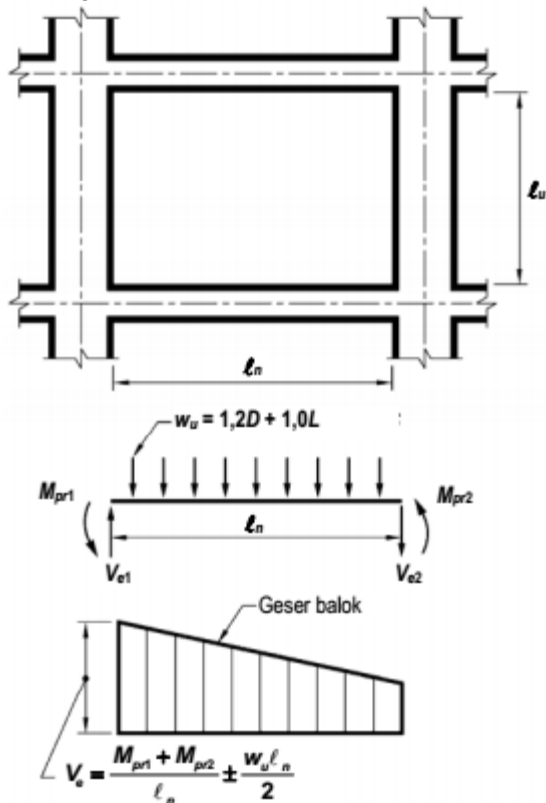
$$= 235641525 Nmm$$

$$M_n \geq M_u / \phi$$

$$235641525 Nmm \geq 32752556 Nmm \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah lapangan dipasang tulangan lentur pada bagian bawah 4D19 dan bagian atas 4D19

#### 4.5.1.4 Penulangan Geser Balok Induk



Gambar 4.31 Geser Desain Untuk Balok

SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.1 menjelaskan bahwa gaya geser desain,  $V_e$ , ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur pada muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin,  $M_{pr}$ , bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentangnya.

Perhitungan momen-momen ujung,  $M_{pr}$ , berdasarkan pada tegangan tarik baja sebesar  $1,25f_y$

Perhitungan  $M_{pr1}$ :

$$A_{s_{pakai}} = 1417,64 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} T &= A_s 1,25 f_y \\ &= 1417,64 \text{ mm}^2 \times 1,25 \times 240 \text{ MPa} \\ &= 708821,84 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= T / 0,85 f_c' b \\ &= 708821,84 \text{ N} / 0,85 \times 35 \text{ MPa} \times 400 \text{ mm} \\ &= 59,56 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= T(d - a/2) \\ &= 708821,84 \text{ N} \times (538,5 \text{ mm} - 59,56 \text{ mm} / 2) \\ &= 360590125 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan  $M_{pr2}$ :

$$A_{s_{pakai}} = 1134,1149 \text{ mm}^2$$

$$T = A_s 1,25 f_y$$

$$\begin{aligned}
&= 1134,1149 \text{ mm}^2 \times 1,25 \times 240 \text{ MPa} \\
&= 567057,47 \text{ N} \\
a &= T / 0,85 f_c' b \\
&= 567057,47 \text{ N} / 0,85 \times 35 \text{ MPa} \times 400 \text{ mm} \\
&= 47,65 \text{ mm} \\
M_{pr2} &= T(d - a/2) \\
&= 567057,47 \text{ N} \times (538,5 \text{ mm} - 47,65 \text{ mm} / 2) \\
&= 291849770 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

Untuk nilai  $W_u$  akan diambil dari SAP dengan kombinasi 1,2D+1L dan diambil pada muka joint.

$$W_u = 114547,8 \text{ N}$$

Sehingga gaya geser desain,  $V_e$ , yang memikul beban gempa dapat dihitung sebagai berikut

$$\begin{aligned}
V_e &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u l_n}{2} \\
V_e &= \frac{360590125 + 291849770}{4900} + \frac{114547,8 \times 4900}{2} \\
&= 256080,1 \text{ N (menentukan)} \\
V_e &= \frac{360590125 + 291849770}{4900} - \frac{122929,1 \times 4900}{2} \\
&= 247698,8 \text{ N}
\end{aligned}$$

#### Perencanaan Tulangan Geser Pada Daerah Sendi Plastis

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.2 menjelaskan bahwa tulangan transversal di daerah sendi plastis mengasumsikan,  $V_c = 0$  apabila memenuhi syarat berikut



- gaya geser akibat gempa melebihi setengah dari kekuatan geser akibat kombinasi gempa dan gravitasi

$$\frac{M_{pr1}+M_{pr2}}{l_n} \geq 0,5 \frac{M_{pr1}+M_{pr2}}{l_n} + \frac{W_u l_n}{2}$$

$$133150,9N \geq 123849,4N \text{ (memenuhi)}$$

- gaya tekan aksial terfaktor,  $P_u$ , kurang dari  $A_g f_c' / 20$

$$P_u \leq 0,2 \times A_g \times f_c'$$

$$737773,9N \leq 960000N \text{ (memenuhi)}$$

Maka perhitungan kekuatan geser harus mengasumsikan  $V_c = 0$

$$V_e = 247698,8N$$

Direncanakan tulangan geser:

- Diameter polos,  $\emptyset = 12\text{mm}$
- Spasi tulangan,  $s = 100\text{mm}$
- Jumlah kaki = 4 kaki

Perhitungan kuat geser beton ( $V_c$ ) dan kuat geser tulangan ( $V_s$ ):

$$V_c = 0$$

$$\begin{aligned} V_{s,min} &= \frac{1}{3} b_w d \\ &= \frac{1}{3} \times 400 \times 538,5 \\ &= 71800N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s,max} &= 0,33 \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 0,33 \times \sqrt{35} \times 400 \times 538,5 \\ &= 424774,53N \end{aligned}$$

$$2V_{s,max} = 2 \times 424774,53N$$

$$= 849549,06N$$

Cek kondisi kuat geser:

$$\text{Kondisi 1} = V_u \leq 0,5\phi V_c$$

$$= 247698,8N \leq 0,5 \times 0,75 \times 0$$

$$= 247698,8N \leq 0N \text{ (tidak memenuhi)}$$

$$\text{Kondisi 2} = 0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c$$

$$= 0N \leq 247698,8N \leq 0,75 \times 0$$

$$= 0N \leq 247698,8N \leq 0N \text{ (tidak memenuhi)}$$

$$\text{Kondisi 3} = \phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,min})$$

$$= 0N \leq 247698,8N \leq 0,75 (0N + 471800N)$$

$$= 45559,73N \leq 247698,8N \leq 53850N \quad \text{(tidak memenuhi)}$$

$$\text{Kondisi 4} = \phi(V_c + V_{s,min}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s,max})$$

$$= 53850N \leq 247698,8N \leq 0,75 (0N + 424774,53N)$$

$$= 53850N \leq 247698,8N \leq 318580,9N \\ \text{(memenuhi)}$$

Karena kuat geser masuk pada kondisi 4, maka dibutuhkan tulangan geser

$$V_{s,pertu} = (V_e - \phi V_c) / \phi$$

$$= (247698,8 - 0,75 \times 0) / 0,75$$

$$= 330265,07N$$

$$A_{v,pertu} = \frac{V_s \times s}{f_y \times d}$$

$$= \frac{330265,07N \times 100mm}{240MPa \times 538,5mm}$$

$$= 255,54mm^2$$

SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2 menuliskan kombinasi antara geser dan torsi seperti yang dituliskan pada persamaan berikut

$$A_v + 2A_t = 255,54mm^2 + 2 \times 33,23mm^2$$

$$= 322,00mm^2$$

Luas minimum sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari

$$A_v + 2A_t \geq 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b_w s}{f_{yt}}$$

$$322,00mm^2 \geq 0,062 \sqrt{35} \frac{400 \times 100}{240}$$

$$322,00mm^2 \geq 61,13mm^2 \text{ (memenuhi)}$$

$$A_v + 2A_t \geq 0,035 \frac{b_w s}{f_{yt}}$$

$$322,00mm^2 \geq 0,035 \frac{400 \times 100}{240}$$

$$322,00mm^2 \geq 58,33mm^2 \text{ (memenuhi)}$$

$$A_{v,pakai} = 1/4 \times \pi \times d^2 \times n$$

$$= 1/4 \times \pi \times 12^2 \times 4$$

$$= 452,39mm^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{v,perlu} \leq A_{v,pakai}$$

$$322,00mm^2 \leq 452,39mm^2 \text{ (memenuhi)}$$

SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.2 memberi syarat bahwa sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari berikut ini

- $d/4$

$$\begin{array}{rcl} s & \leq & d/4 \\ 100mm & \leq & 538,5mm/4 \\ 100mm & \leq & 134,625mm \text{ (memenuhi)} \end{array}$$

- enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama tidak termasuk tulangan kulit longitudinal

$$\begin{array}{rcl} s & \leq & 6 \times D_{min} \\ 100mm & \leq & 6 \times 19mm \\ 100mm & \leq & 114mm \text{ (memenuhi)} \end{array}$$

- 150mm

$$\begin{array}{rcl} s & \leq & 150mm \\ 100mm & \leq & 150mm \text{ (memenuhi)} \end{array}$$

SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.1 memberi syarat untuk pemasangan tulangan transversal daerah sendi plastis adalah sepanjang dua kali tinggi komponen struktur

$$\begin{aligned} 2h &= 2 \times 600mm \\ &= 1200mm \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah sendi plastis dipasang tulangan geser 4Ø12-100 dengan panjang 1200mm diukur dari muka joint.

#### Perencanaan Tulangan Geser Diluar Daerah Sendi Plastis

Nilai  $V_u$  diambil dari SAP pada jarak 1200mm dari muka joint

$$V_u = 97623,8N$$

Direncanakan tulangan geser:

- Diameter polos,  $\emptyset$  = 12mm
- Spasi tulangan,  $s$  = 120mm
- Jumlah kaki = 2 kaki

Perhitungan kuat geser beton ( $V_c$ ) dan kuat geser tulangan ( $V_s$ ):

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_wd \\ &= 0,17x1\sqrt{35}x400x583,5 \\ &= 216635,01N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s,min} &= \frac{1}{3}b_wd \\ &= \frac{1}{3}x400x538,5 \\ &= 71800N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s,max} &= 0,33\sqrt{f'_c}b_wd \\ &= 0,33x\sqrt{35}x400x538,5 \\ &= 424774,53N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2V_{s,max} &= 2x424774,53N \\ &= 849549,06N \end{aligned}$$

Cek kondisi kuat geser:

$$\begin{aligned} \text{Kondisi 1} &= V_u \leq 0,5\phi V_c \\ &= 97623,8N \leq 0,5x0,75x216635,01N \\ &= 97623,8N \leq 81238,129N \text{ (tidak memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kondisi 2} &= 0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \\ &= 81238,129 \leq 97623,8N \leq 0,75x216635,01 \\ &= 81238,129N \leq 97623,8N \leq 162476,26N \\ &\text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Karena kuat geser masuk pada kondisi 2, maka tidak dibutuhkan tulangan geser. Tetapi karena tulangan geser wajib disediakan minimal dengan tulangan geser minimum, maka pada balok akan dipasang tulangan geser minimum

$$\begin{aligned}
 A_{v,min} &= 0,35 \times b_w \times s / f_y \\
 &= 0,35 \times 400 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} / 240 \text{ MPa} \\
 &= 70 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2 menuliskan kombinasi antara geser dan torsi seperti yang dituliskan pada persamaan berikut

$$\begin{aligned}
 A_t &= \frac{1,7 \times T_u \times s}{\phi \times 1,7 \times A_{oh} \times f_{yt} \times \cot \theta} \\
 &= \frac{1,7 \times 14928200 \times 120}{0,75 \times 1,7 \times 146816 \times 240 \times \cot 45} \\
 &= 39,87 \text{ mm}^2 \\
 A_v + 2A_t &= 70 \text{ mm}^2 + 2 \times 39,87 \text{ mm}^2 \\
 &= 149,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas minimum sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari

$$\begin{aligned}
 A_v + 2A_t &\geq 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b_w s}{f_{yt}} \\
 149,75 \text{ mm}^2 &\geq 0,062 \sqrt{35} \frac{400 \times 120}{240} \\
 149,75 \text{ mm}^2 &\geq 73,36 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \\
 A_v + 2A_t &\geq 0,035 \frac{b_w s}{f_{yt}} \\
 149,75 \text{ mm}^2 &\geq 0,035 \frac{400 \times 120}{240} \\
 149,75 \text{ mm}^2 &\geq 70 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \\
 A_{v,pakai} &= 1/4 \times \pi \times d^2 \times n
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1/4 \times \pi \times 12^2 \times 2 \\
 &= 226,19 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_{v,perlu} &\leq A_{v,pakai} \\
 149,75 \text{ mm}^2 &\leq 226,19 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah diluar sendi plastis dipasang tulangan geser Ø12-120 dipasang mulai 1200mm dari muka joint sampai tengah bentang.

#### 4.5.1.5 Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran terdapat beberapa macam yaitu panjang penyaluran dalam kondisi tarik, panjang penyaluran dalam kondisi tekan, dan penyaluran kait standar dalam kondisi tarik.

##### a. Panjang Penyaluran Kondisi Tarik

SNI 2847-2013 pasal 12.2.2 menjelaskan panjang penyaluran,  $l_d$ , untuk batang tulangan atau kawat ulir diameter 19 atau yang lebih kecil dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 l_d &= \left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,4 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b \\
 &= \left( \frac{400 \times 1 \times 1}{1,4 \times 1 \times \sqrt{35}} \right) \times 19 \text{ mm} \\
 &= 611,73 \approx 650 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

##### b. Panjang Penyaluran Kondisi Tekan

SNI 2847-2013 pasal 12.3.2 menjelaskan panjang penyaluran dalam kondisi tekan,  $l_{dc}$ , dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 l_{dc} &= \left( \frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b \\
 &= \left( \frac{0,24 \times 400}{1 \times \sqrt{35}} \right) \times 19 \text{ mm} \\
 &= 308,31 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nilai  $l_{dc}$  tidak boleh kurang dari:

$$\begin{aligned}
 l_{dc} &= (0,043 f_y) d_b \\
 &= (0,043 \times 400) \times 19 \text{ mm} \\
 &= 326,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nilai  $l_{dc}$  diambil yang terbesar, yaitu:

$$l_{dc} = 326,8 \approx 250 \text{ mm}$$

c. Penyaluran Kait Standar Kondisi Tarik

SNI 2847-2013 pasal 12.5.1 menjelaskan panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri dengan kait standar,  $l_{dh}$ , dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 l_{dh} &= \left( \frac{0,24 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b \\
 &= \left( \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{35}} \right) \times 19 \text{ mm} \\
 &= 308,31 \approx 350 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

perpanjangan kait standar dipakai  $12d_b$ , yaitu

$$\begin{aligned}
 12d_b &= 12 \times 19 \text{ mm} \\
 &= 228 \approx 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.34 Penulangan Balok Induk Melintang 1 (BIL1)

Tulangan	Tumpuan	Lapangan
Lentur Atas	5D19	4D19



Lentur Bawah	4D19	4D19
Torsi	2D19	2D19
Geser	4Ø12-100	12Ø120

Tabel 4.35 Rekapitulasi Penulangan Balok Induk

Tipe	L (m)	b/h	Tulangan Lentur				Tulangan Geser		Torsi
			Tumpuan		Lapangan		tumpuan	lapangan	
			atas	bawah	atas	bawah			
BIL1	5,25	40/60	5D19	4D19	4D19	4D19	4Ø12-100	Ø12-120	2D22
BIL2	3,00	30/40	3D19	2D19	2D19	2D19	Ø12-80	Ø12-150	2D19
BIL3	7,35	40/60	7D19	5D19	3D19	5D19	4Ø12-100	4Ø12-150	2D19
BIL4	4,55	30/40	3D19	2D19	2D19	2D19	Ø12-80	Ø12-150	2D19
BIL5	4,20	30/40	3D19	2D19	2D19	2D19	3Ø12-80	3Ø12-130	2D19
BIL6	2,58	30/40	3D19	2D19	2D19	2D19	Ø12-80	Ø12-150	2D19
BIL7	2,40	30/40	3D19	2D19	2D19	2D19	Ø12-80	Ø12-150	2D19
BIL8	4,60	30/40	4D19	3D19	2D19	3D19	4Ø12-80	3Ø12-130	2D19
BIL9	2,83	30/40	2D19	2D19	2D19	2D19	Ø12-80	Ø12-150	-
BIL10	2,60	30/40	3D19	3D19	2D19	3D19	3Ø12-80	Ø12-150	2D19
BIM1	4,60	30/40	3D19	2D19	2D19	2D19	Ø12-80	Ø12-150	2D19
BIM2	2,35	30/40	3D19	3D19	2D19	3D19	4Ø12-80	Ø12-120	2D19
BIM3	4,55	30/40	3D19	2D19	2D19	2D19	Ø12-100	Ø12-150	-
BIM4	5,25	30/50	3D19	3D19	3D19	3D19	3Ø12-80	Ø12-150	2D19
BIM5	3,00	30/40	2D19	2D19	2D19	2D19	Ø12-80	Ø12-150	-
BIM6	2,63	30/40	4D19	3D19	2D19	3D19	4Ø12-80	Ø12-100	2D19

## 4.5.2 Perencanaan Kolom

Kolom merupakan struktur utama yang memikul beban beban gempa maupun beban gravitasi. Beban gravitasi yang diterima oleh kolom yaitu beban dari balok, pelat, dan beban tambahan lainnya. Beban yang diterima kolom nantinya akan disalurkan ke pondasi.

### 4.5.2.1 Data Perencanaan

Pada perencanaan kolom yang akan dihitung adalah kolom tipe 1 (K1). Adapun data-data perencanaan yang diketahui adalah sebagai berikut

- Mutu beton,  $f_c'$  = 35 MPa
- Mutu baja lentur,  $f_y$  = 400 MPa

- Mutu baja geser,  $f_y$  = 400 MPa
- Tinggi kolom = 3500 mm
- Selimut beton,  $c$  = 40 mm
- Lebar kolom = 500 mm
- Tinggi kolom = 800 mm
- $\beta = 0,85 - 0,05/7(f_c' - 28) = 0,8$

SNI 2847-2013 pasal 21.6.1 harus terpenuhi apabila kolom sebagai bagian sistem penahan gaya gempa dan menahan gaya aksial terfaktor,  $P_u$ , akibat sebarang kombinasi yang melebihi  $A_g f_c' / 10$

- gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur,  $P_u$ , melebihi  $A_g f_c' / 10$

$$\begin{aligned}
 P_u &\geq A_g f_c' / 10 \\
 6111288,9N &\geq 500mm \times 800mm \times 35MPa / 10 \\
 6111288,9N &\geq 1400000N \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

- dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300mm

$$\begin{aligned}
 b &\geq 300mm \\
 500mm &\geq 300mm \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

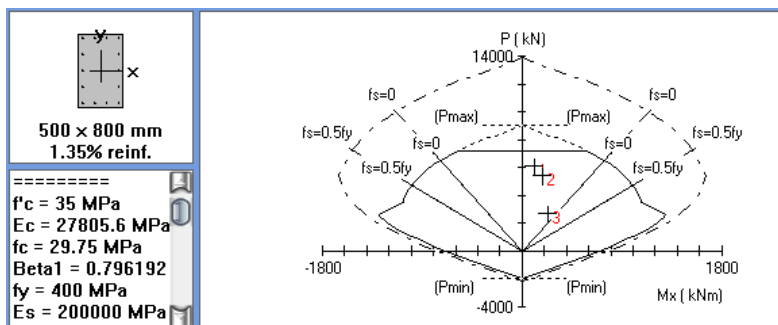
- rasio dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus tidak boleh kurang dari 0,4

$$\begin{aligned}
 b/h &\geq 0,4 \\
 500/800 &\geq 0,4 \\
 0,625 &\geq 0,4 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

#### 4.5.2.2 Tulangan Longitudinal Kolom

Untuk perencanaan tulangan memanjang kolom akan digunakan program bantu SpColumn. Pada SpColumn akan dimasukkan gaya-gaya dalam hasil dari SAP. Pada perencanaan kolom ini, terdapat 3 kondisi, yaitu perencanaan kolom dari beban

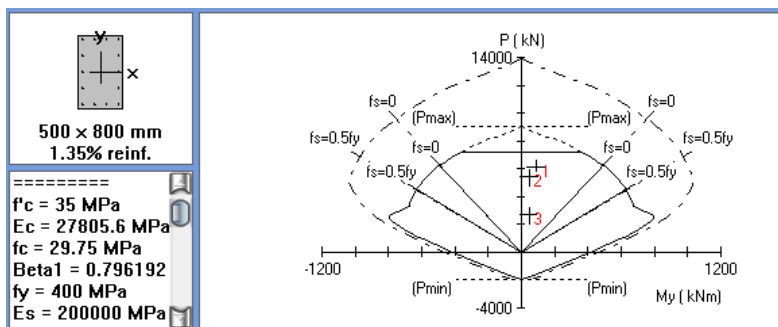
aksial terbesar, perencanaan kolom dari momen arah X terbesar, dan perencanaan kolom dari momen arah Y terbesar. Berikut ini adalah diagram interaksi antara gaya aksial dengan momen kolom.



Gambar 4.32 Diagram Interaksi Antara Gaya Aksial dan Momen Kolom Arah X

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:				
No.	Pu kN	Mux kNm	PhiMnx kNm	PhiMn/Mu NA
1	6111.29	108.17	815.06	7.535
2	5428.68	181.66	917.41	5.050
3	2673.48	230.20	1274.36	5.536

Gambar 4.33 Momen Kapasitas pada Kolom Arah X



Gambar 4.34 Diagram Interaksi Antara Gaya Aksial dan Momen Kolom Arah Y

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:					
No.	Pu kN	Muy kNm	PhiMny kNm	PhiMn/Mu NA	
1	6111.29	89.32	506.13	5.667	
2	5428.68	47.52	570.57	12.007	
3	2673.48	44.69	779.86	17.450	

Gambar 4.35 Momen Kapasitas pada Kolom Arah Y

Dari SpColumn dipakai tulangan 14D22 dan didapatkan rasio tulangan sebesar 1,35%.

SNI 2847-2013 pasal 21.6.3.1 memberi syarat bahwa luas tulangan memanjang kolom,  $A_{st}$ , tidak boleh kurang dari  $0,01A_g$  atau lebih dari  $0,06A_g$ .

$$\begin{aligned}
 A_{st} &\geq 0,01A_g \\
 1/4 \pi x 22^2 x 19 &\geq 0,01 x 500\text{mm} x 800\text{mm} \\
 5321,858\text{mm}^2 &\geq 4000\text{mm}^2 \text{ (memenuhi)} \\
 A_{st} &\leq 0,06A_g \\
 1/4 \pi x 22^2 x 19 &\leq 0,06 x 500\text{mm} x 800\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$5321,858\text{mm}^2 \leq 24000\text{mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

SNI 2847-2013 pasal 10.3.6.2 menjelaskan bahwa kapasitas aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor

$$\begin{aligned}\phi P_{n,max} &= 0,80\phi[0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \\ &= 0,80 \times 0,65 \times [0,85 \times 35 \times (400000 - 5321,858) + 400 \times 5321,858] \\ &= 7212617,3N\end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}\phi P_{n,max} &\geq P_u \\ 7212617,3N &\geq 5569323N \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

#### 4.5.2.3 Strong Column Weak Beams

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.6.2.2, kekuatan lentur kolom harus memenuhi:

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2) \Sigma M_{nb}$$

Dimana,

$\Sigma M_{nc}$  = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

$\Sigma M_{nb}$  = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint, tulangan slab dengan lebar efektif harus diasumsikan menyumbang  $M_{nb}$  jika tulangan slab disalurkan pada penampang kritis untuk lentur.

Karena ada 2 balok dari arah X dan arah Y, maka strong column weak beams harus dikontrol dalam 2 arah yaitu arah X dan arah Y.

Strong Column Weak Beam Arah X

dipilih kapasitas momen terendah yang akan digunakan sebagai kontrol strong column weak beam, yaitu

$$\begin{aligned}\Sigma M_{nc} &= 815060000Nmm + 815060000Nmm \\ &= 1630120000Nmm\end{aligned}$$

Balok yang menyatu pada joint kolom arah X adalah balok memanjang tipe 4 (BIM4). Diketahui momen kapasitas BIM4 adalah

$$\begin{aligned}M_g^+ &= 142197343Nmm \\ M_g^- &= 142197343Nmm \\ \Sigma M_{nb} &= 142197343Nmm + 142197343Nmm \\ &= 284394686Nmm\end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}\Sigma M_{nc} &\geq (1,2) \Sigma M_{nb} \\ 1630120000Nmm &\geq 1,2 \times 284394686Nmm \\ 1630120000Nmm &\geq 341373623Nmm \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

Strong Column Weak Beam Arah Y

dipilih kapasitas momen terendah yang akan digunakan sebagai kontrol strong column weak beam, yaitu

$$\begin{aligned}\Sigma M_{nc} &= 506130000Nmm + 506130000Nmm \\ &= 1012260000Nmm\end{aligned}$$

Balok yang menyatu pada joint kolom arah Y adalah balok melintang tipe 4 (BIL4). Diketahui momen kapasitas BIL4 adalah

$$\begin{aligned}M_g^+ &= 108173895Nmm \\ M_g^- &= 73557069Nmm\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_{nb} &= 108173895Nmm + 73557069Nmm \\ &= 181730964Nmm\end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}\Sigma M_{nc} &\geq (1,2) \Sigma M_{nb} \\ 1012260000Nmm &\geq 1,2 \times 181730964Nmm \\ 1012260000Nmm &\geq 218077156,8Nmm \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

#### 4.5.2.4 Tulangan Pengekangan Pada Kolom

SNI 2847-2013 menjelaskan bahwa tulangan transversal harus dipasang sepanjang  $l_o$  dari setiap muka joint dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis. Panjang  $l_o$  tidak boleh kurang dari yang terbesar dari berikut ini.

- Tinggi komponen struktur pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur terjadi

$$h = 800mm$$

- Seperenam bentang bersih komponen struktur

$$\begin{aligned}1/6l_u &= 1/6 \times 3000mm \\ &= 500mm\end{aligned}$$

- 450mm

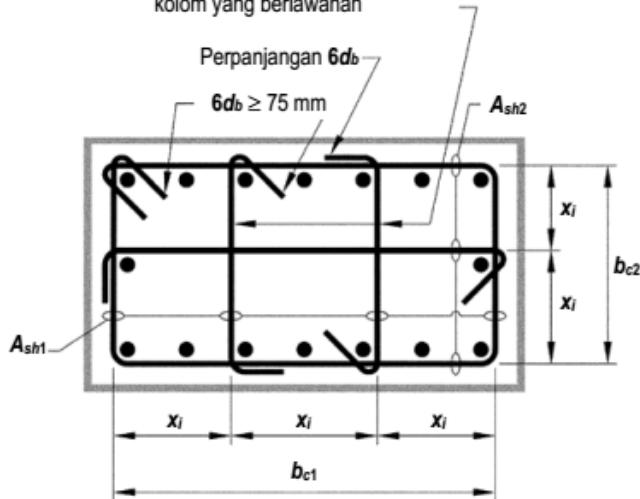
Maka untuk tulangan pengekangan kolom dipasang sepanjang  $l_o = 800mm$

SNI 2847-2013 pasal 21.6.4.4 (b) menyebutkan bahwa luas tulangan total sengkang persegi,  $A_{sh}$ , tidak boleh kurang dari

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s_b c f_c'}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \text{ dan}$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}}$$

Pengikat silang berturutan yang memegang batang tulangan longitudinal yang sama mempunyai kait 90 derajatnya pada sisi kolom yang berlawanan



Dimensi  $x_l$  dari garis pusat ke garis pusat kaki-kaki pengikat tidak melebihi 350 mm. Rumus  $h_x$  yang digunakan dalam persamaan 21-2 diambil sebagai nilai terbesar dari  $x_l$ .

Gambar 4.36 Tulangan Pengekangan Kolom

Direncanakan:

$$D = 13 \text{ mm}$$

$$s = 100 \text{ mm}$$

$$n = 5 \text{ kaki (pada dimensi terpanjang)}$$

$$n = 4 \text{ kaki (pada dimensi terpendek)}$$

SNI 2847-2013 pasal 21.6.4.3 menyebutkan spasi tulangan transversal sepanjang panjang  $l_o$  komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari:



- Seperempat dimensi komponen struktur minimum

$$\begin{aligned} 1/4b &= 1/4 \times 500mm \\ &= 125mm \end{aligned}$$

- Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil

$$\begin{aligned} 6D &= 6 \times 22mm \\ &= 132mm \end{aligned}$$

- $s_o$ , seperti didefinisikan oleh persamaan berikut

$$\begin{aligned} s_o &= 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right) \\ &= 100 + \left( \frac{350 - 204}{3} \right) \\ &= 149mm \end{aligned}$$

$h_x$  diambil nilai  $x_1$  yang terbesar yaitu 204mm. nilai  $s_o$  tidak boleh kurang dari 100mm dan tidak perlu lebih dari 150mm

$$100mm \leq s_o \leq 150mm$$

$$100mm \leq 149mm \leq 150mm \text{ (memenuhi)}$$

$$\text{Maka } s_o = 149mm$$

Batas spasi tulangan minimum diambil yang terkecil, yaitu 125mm

Kontrol:

$$s_{pakai} \leq 125mm$$

$$100mm \leq 125mm \text{ (memenuhi)}$$

$$b_{c1} = h - 2 \times c - 2 \times 0,5 \times D$$

$$\begin{aligned}
 &= 800 - 2 \times 40 - 2 \times 0,5 \times 13 \\
 &= 707mm \\
 b_{c2} &= b - 2 \times c - 2 \times 0,5 \times D \\
 &= 500 - 2 \times 40 - 2 \times 0,5 \times 13 \\
 &= 407mm
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai  $x_1$  pada dimensi terpanjang:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= b_{c1}/(n - 1) \\
 &= 707/(5 - 1) \\
 &= 177mm \leq 350mm \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai  $x_1$  pada dimensi terpendek:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= b_{c2}/(n - 1) \\
 &= 407/(4 - 1) \\
 &= 136mm \leq 350mm \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Luas bruto penampang kolom,  $A_g$ , dan luas yang dibatasi tulangan sengkang terluar,  $A_{ch}$ :

$$\begin{aligned}
 A_g &= 500 \times 800 \\
 &= 400000mm^2 \\
 A_{ch} &= (500 - 2 \times 40) \times (800 - 2 \times 40) \\
 &= 302400mm^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan pengekanan kolom,  $A_{sh}$ :

- Luas pengekanan kolom pada dimensi terpanjang,  $A_{sh1}$ :

$$\begin{aligned}
A_{sh1} &= 0,3 \frac{s_b f_c'}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \\
&= 0,3 \frac{100 \times 707 \times 35}{400} \left[ \left( \frac{400000}{302400} \right) - 1 \right] \\
&= 598,986 \text{ mm}^2 \\
A_{sh1} &= 0,09 \frac{s_b f_c'}{f_{yt}} \\
&= 0,09 \frac{100 \times 707 \times 35}{400} \\
&= 556,76 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Diambil nilai yang terbesar yaitu  $A_{sh1} = 598,986 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
A_{sh,pakai} &= 1/4 \times \pi \times 13^2 \times 5 \\
&= 663,66 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
A_{sh,pakai} &\geq A_{sh1} \\
663,66 \text{ mm}^2 &\geq 556,76 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
\end{aligned}$$

- Luas pengekanan kolom pada dimensi terpendek,  $A_{sh2}$ :

$$\begin{aligned}
A_{sh2} &= 0,3 \frac{s_b f_c'}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \\
&= 0,3 \frac{100 \times 407 \times 35}{400} \left[ \left( \frac{400000}{302400} \right) - 1 \right] \\
&= 344,82 \text{ mm}^2 \\
A_{sh2} &= 0,09 \frac{s_b f_c'}{f_{yt}} \\
&= 0,09 \frac{100 \times 407 \times 35}{400} \\
&= 320,51 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Diambil nilai yang terbesar yaitu  $A_{sh2} = 344,82\text{mm}^2$

$$\begin{aligned} A_{sh,pakai} &= 1/4 \times \pi \times 13^2 \times 4 \\ &= 530,93\text{mm}^2 \end{aligned}$$

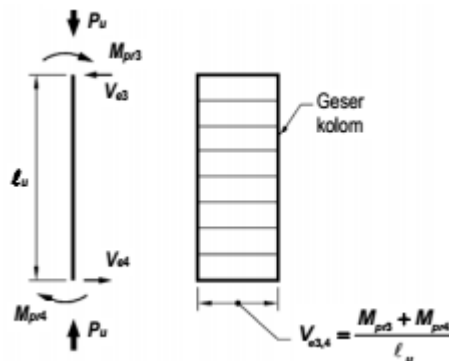
Kontrol:

$$\begin{aligned} A_{sh,pakai} &\geq A_{sh1} \\ 530,92\text{mm}^2 &\geq 344,82\text{mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka, tulangan yang dipakai di dalam pengekanan kolom adalah 9D13-100 sepanjang  $l_o = 800\text{mm}$

#### 4.5.2.5 Tulangan Transversal Untuk Beban Geser

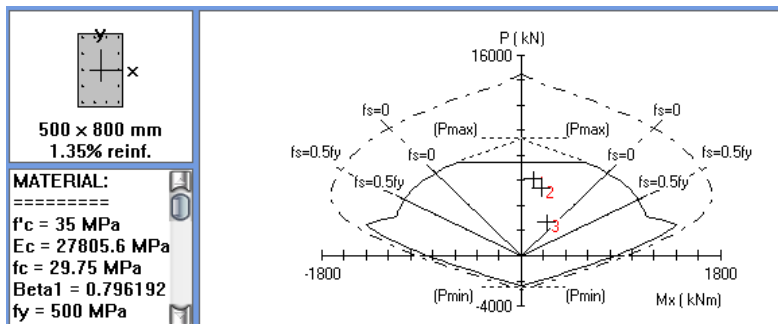
SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.1 menjelaskan bahwa gaya geser desain,  $V_e$ , harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur pada muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin,  $M_{pr}$ , bekerja pada muka-muka join.



Gambar 4.37 Geser Desain Untuk Kolom

Perhitungan momen-momen ujung,  $M_{pr}$ , berdasarkan pada tegangan tarik baja sebesar  $1,25f_y$ . Momen ujung  $M_{pr}$  untuk

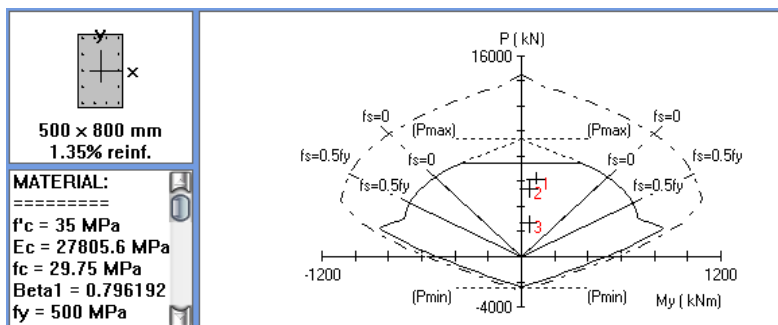
kolom tidak perlu lebih besar dari momen-momen yang dihasilkan oleh  $M_{pr}$  balok-balok yang merangka ke dalam joint balok-kolom.



Gambar 4.38 Diagram Interaksi Antara Gaya Aksial dan Momen Kolom Arah X dengan Tegangan Leleh Baja Ditingkatkan 1,25fy

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:					
No.	Pu kN	Mux kNm	PhiMnx kNm	PhiMn/Mu NA	
1	6111.29	108.17	868.29	8.027	
2	5428.68	181.66	964.99	5.312	
3	2673.48	230.20	1328.42	5.771	

Gambar 4.39 Momen Kapasitas pada Kolom Arah X dengan Tegangan Leleh Baja Ditingkatkan 1,25fy



Gambar 4.40 Diagram Interaksi Antara Gaya Aksial dan Momen Kolom Arah Y dengan Tegangan Leleh Baja Ditingkatkan 1,25fy

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:					
No.	Pu kN	Muy kNm	PhiMny kNm	PhiMn/Mu NA	
1	6111.29	89.32	544.40	6.095	
2	5428.68	47.52	605.39	12.740	
3	2673.48	44.69	777.58	17.399	

Gambar 4.41 Momen Kapasitas pada Kolom Arah Y dengan Tegangan Leleh Baja Ditingkatkan 1,25fy

diambil nilai  $M_{pr}$  kolom yang terbesar yaitu  $1328420000 Nmm$

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \\
 &= \frac{1328420000 + 1328420000}{3000} \\
 &= 885613,33N
 \end{aligned}$$

Momen ujung  $M_{pr}$  untuk kolom tidak perlu lebih besar dari momen-momen yang dihasilkan oleh  $M_{pr}$  balok-balok yang merangka ke dalam joint balok-kolom. Balok yang menyatu pada

joint kolom adalah balok induk memanjang tipe 4 (BIM4) yang mempunyai nilai  $M_{pr}$  sebagai berikut

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \\ &= \frac{175720077 + 175720077}{3000} \\ &= 117146,72N \end{aligned}$$

$$V_e \leq V_u$$

$$885613,33N \geq 117146,72N$$

Maka yang dipakai dalam perencanaan tulangan geser adalah  $M_{pr}$  dari balok-balok yang merangka ke dalam joint balok-kolom

$$V_u = 117146,72N$$

Perhitungan kuat geser beton ( $V_c$ ) dan kuat geser tulangan ( $V_s$ ):

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \\ &= 0,17 \left( 1 + \frac{5569323}{14 \times 500 \times 800} \right) 1 \sqrt{35} \times 500 \times 736 \\ &= 738192,4N \\ \phi V_c &= 0,75 \times 738192,4N \\ &= 553664,3N \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} \phi V_c &\geq V_u \\ 553664,3N &\geq 117146,72N \end{aligned}$$

Karena kuat geser dari beton sudah dapat menahan gaya geser yang terjadi, maka sebenarnya tidak membutuhkan tulangan

geser. Tetapi karena ada persyaratan tulangan pengekanan kolom,  $A_{sh}$ , maka tulangan transversal dipasang 8D13-100 untuk daerah  $l_o$ .

SNI 2847-2013 pasal 21.6.4.5 menyebutkan untuk tulangan transversal diluar daerah  $l_o$ , spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari berikut ini.

- Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil

$$\begin{aligned} 6D &= 6 \times 22mm \\ &= 132mm \end{aligned}$$

- 150mm

Maka diluar daerah  $l_o$  dipasang tulangan sengkang 8D13-150

#### 4.5.2.6 Panjang Lewatan Sambungan pada Kolom

Perhitungan panjang lewatan sambungan pada kolom mengacu pada SNI 2847-2013 pasal 12.2.3 yaitu seperti persamaan berikut

$$l_d = \left( \frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f_c'}} \frac{\psi_t\psi_e\psi_s}{\left(\frac{c_b+K_{tr}}{d_b}\right)} \right) d_b$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \psi_t &= 1 \\ \psi_e &= 1 \\ \psi_s &= 1 \\ \frac{c_b+K_{tr}}{d_b} &= 2,5 \end{aligned}$$

$$l_d = \left( \frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f_c'}} \frac{\psi_t\psi_e\psi_s}{\left(\frac{c_b+K_{tr}}{d_b}\right)} \right) d_b$$



$$= \left( \frac{400}{1,1\lambda\sqrt{35}} \frac{1 \times 1 \times 1}{2,5} \right) 22$$

$$= 541\text{mm} \approx 600\text{mm}$$

Jadi panjang lewatan sambungan pada kolom dipakai 600mm

Tabel 4.36 Penulangan Kolom Tipe 1 (K1)

Tulangan	Tumpuan
Longitudinal	14D22
Transversal daerah sendi plastis	9D13-100
Transversal diluar sendi plastis	9D13-150

Tabel 4.37 Rekapitulasi Penulangan Kolom

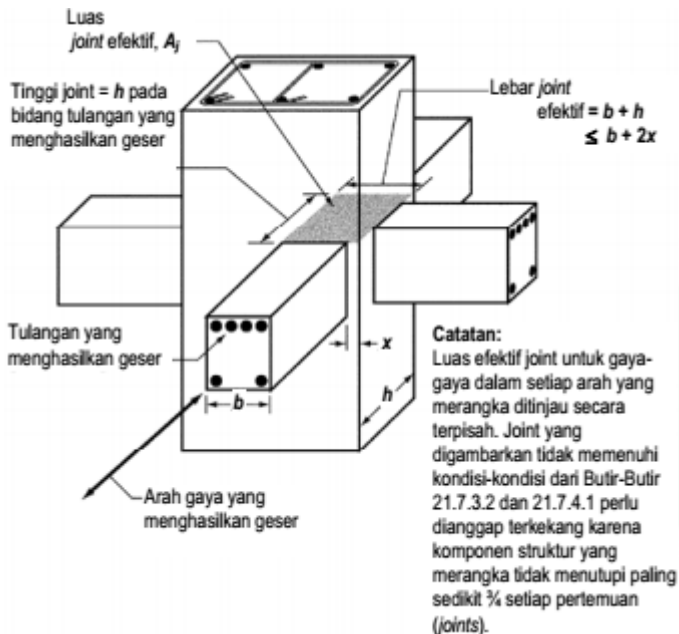
Tipe	b/h	Tulangan Utama	Tulangan Geser	
			tumpuan	lapangan
K1	50/80	14D22	9D13-100	9D13-150
K2	50/70	14D22	9D13-100	9D13-150
K3	30/80	12D22	8D13-100	8D13-150
K4	50/60	12D22	8D13-100	8D13-150
K5	40/60	12D22	7D13-100	7D13-150
K6	40/50	10D25	8D13-100	8D13-150
K7	40/40	14D22	8D13-100	8D13-150

### 4.5.3 Hubungan Balok Kolom (HBK)

Bersasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.7.3.1, tulangan transversal yang memenuhi pasal 21.6.4.4 harus dipasang HBK. SNI 2847-2013 pasal 21.7.3.2 menyebutkan bahwa komponen struktur yang merangka ke dalam semua empat sisi joint dan lebar komponen struktur paling sedikit tiga perempat lebar kolom, jumlah tulangan dalam pasal 21.6.4.4 diijinkan direduksi setengahnya dan spasi tulangan dalam pasal 21.6.4.3 diijinkan ditingkatkan sampai 150mm.

#### 4.5.3.1 Luas Joint Efektif

Luas joint efektif,  $A_j$ , adalah luas penampang efektif dalam suatu joint yang dihitung dari tinggi joint kali lebar joint efektif.



Gambar 4.42 Luas Joint Efektif

Diketahui:

- Lebar kolom,  $b$  = 500 mm
- Tinggi kolom,  $h$  = 800 mm

Balok arah memanjang:

- Lebar balok,  $b$  = 300mm
- Tinggi balok,  $h$  = 500mm

Balok arah melintang:

- Lebar balok,  $b$  = 300mm
- Tinggi balok,  $h$  = 400mm

Untuk perhitungan luas joint efektif pada balok arah memanjang:

$$\begin{aligned}
 A_j &= b \times h \\
 &= 300\text{mm} \times 500\text{mm} \\
 &= 150000\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan luas joint efektif pada balok arah melintang:

$$\begin{aligned} A_j &= b \times h \\ &= 300\text{mm} \times 800\text{mm} \\ &= 240000\text{mm}^2 \end{aligned}$$

#### 4.5.3.2 Penulangan Transversal Pada HBK

SNI 2847-2013 pasal 21.7.3.2 menyebutkan bahwa komponen struktur yang merangka ke dalam semua empat sisi joint dan lebar komponen struktur paling sedikit tiga perempat lebar kolom, jumlah tulangan dalam pasal 21.6.4.4 diijinkan direduksi setengahnya dan spasi tulangan dalam pasal 21.6.4.3 diijinkan ditingkatkan sampai 150mm.

Untuk balok arah memanjang:

$$\begin{aligned} b_{balok} &\leq 3/4 h_{kolom} \\ 300\text{mm} &\leq 3/4 \times 800\text{mm} \\ 300\text{mm} &\leq 600\text{mm} \end{aligned}$$

Untuk balok arah melintang:

$$\begin{aligned} b_{balok} &\leq 3/4 b_{kolom} \\ 300\text{mm} &\leq 3/4 \times 500\text{mm} \\ 300\text{mm} &\leq 375\text{mm} \end{aligned}$$

Karena dalam kedua arah, lebar balok masih kurang dari tiga perempat lebar kolom, maka luas tulangan pegekangan kolom tidak boleh direduksi. Sehingga tulangan yang berada dalam HBK adalah yang telah dihitung pada subbab 4.5.2.4 yaitu 8D13

#### 4.5.3.3 Kuat Geser HBK

SNI 2847-2013 menyebutkan kekuatan geser,  $V_n$ , untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada semua empat muka

Untuk balok arah memanjang:

$$V_n = 1,7 \times \sqrt{f'_c} \times A_j$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,7 \times \sqrt{35} \times 150000 \\
 &= 1508600N
 \end{aligned}$$

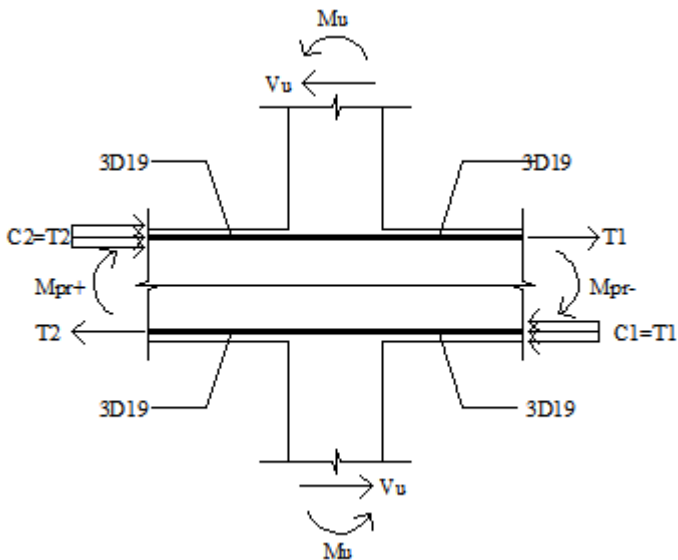
$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,75 \times 1508600N \\
 &= 1131450N
 \end{aligned}$$

Untuk balok arah melintang:

$$\begin{aligned}
 V_n &= 1,7 \times \sqrt{f_c'} \times A_j \\
 &= 1,7 \times \sqrt{35} \times 240000 \\
 &= 2413761N
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,75 \times 2413761N \\
 &= 1810320N
 \end{aligned}$$

Perhitungan HBK pada balok arah memanjang:



Gambar 4.43 Analisa Geser Pada HBK Arah Memanjang

$$T_1 = 1,25 \times A_s \times f_y$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,25 \times 850,59 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \\
 &= 425293,11 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= T_1 / (0,85 \times f'_c \times b) \\
 &= 425293,11 \text{ N} / (0,85 \times 35 \text{ MPa} \times 300 \text{ mm}) \\
 &= 47,65 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr}^- &= T_1 \times (d - a/2) \\
 &= 425293,11 \text{ N} \times (538,5 \text{ mm} - 47,65 \text{ mm}/2) \\
 &= 175720077 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_2 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\
 &= 1,25 \times 850,59 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \\
 &= 425293,11 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= T_2 / (0,85 \times f'_c \times b) \\
 &= 425293,11 \text{ N} / (0,85 \times 35 \text{ MPa} \times 300 \text{ mm}) \\
 &= 47,65 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr}^+ &= T_2 \times (d - a/2) \\
 &= 425293,11 \text{ N} \times (538,5 \text{ mm} - 47,65 \text{ mm}/2) \\
 &= 175720077 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Gaya geser di kolom dihitung dari  $M_{pr}$  kedua ujung balok yang menyatu di HBK. Dalam hal ini, tinggi kolom atas dan bawah berbeda, jumlah  $M_{pr}$  yang dipikul oleh kolom atas dan kolom bawah HBK berbanding terbalik dengan panjangnya masing-masing.

$$\begin{aligned}
 M_{k,atas} &= (M_{pr}^+ + M_{pr}^-) \left( \frac{L_b}{L_t + L_b} \right) \\
 &= (175720077 + 175720077) \left( \frac{1,75}{3,5 + 1,75} \right) \\
 &= 117146718 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_{k,bawah} = (M_{pr}^+ + M_{pr}^-) \left( \frac{L_b}{L_t + L_b} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= (175720077 + 175720077) \left( \frac{3,5}{3,5+1,75} \right) \\
 &= 234293436 \text{ Nmm} \\
 V_{atas} &= \frac{M_{k,atas}}{L_t/2} \\
 &= \frac{117146718}{3500/2} \\
 &= 66940,982 \text{ N} \\
 V_{bawah} &= \frac{M_{k,bawah}}{L_b/2} \\
 &= \frac{234293436}{1750/2} \\
 &= 267763,93 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Sehingga gaya geser di kolom atas:

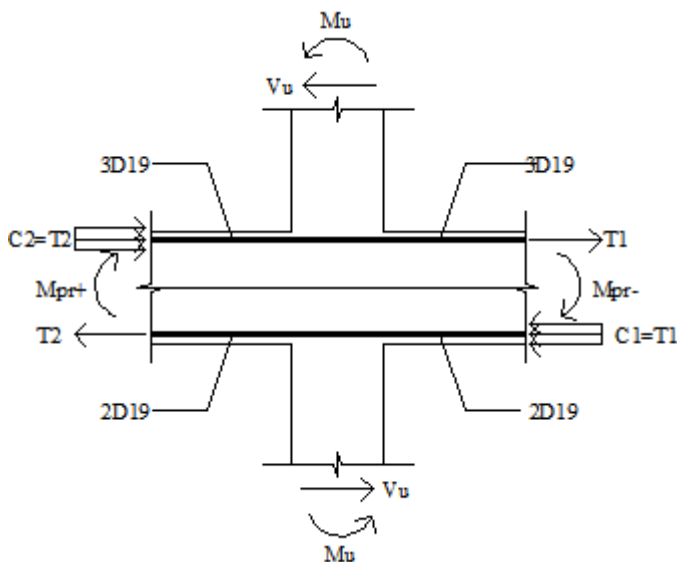
$$\begin{aligned}
 V_{u,atas} &= T_1 + T_2 - V_{atas} \\
 &= 425293,11 \text{ N} + 425293,11 \text{ N} - 66940,982 \text{ N} \\
 &= 783645,24 \text{ N} \\
 V_{u,bawah} &= T_1 + T_2 - V_{bawah} \\
 &= 425293,11 \text{ N} + 425293,11 \text{ N} - 267763,93 \text{ N} \\
 &= 582822,29 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Diambil gaya geser yang terbesar, yaitu  $V_u = 783645,24 \text{ N}$

Kontrol HBK yang terkekang pada keempat sisi untuk arah memanjang:

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &\geq V_u \\
 1131450 \text{ N} &\geq 783645,24 \text{ N} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan HBK pada balok arah melintang:



Gambar 4.44 Analisa Geser Pada HBK Arah Melintang

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\
 &= 1,25 \times 850,59 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \\
 &= 425293,11 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= T_1 / (0,85 \times f'_c \times b) \\
 &= 425293,11 \text{ N} / (0,85 \times 35 \text{ MPa} \times 300 \text{ mm}) \\
 &= 47,65 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr}^- &= T_1 \times (d - a/2) \\
 &= 425293,11 \text{ N} \times (337 \text{ mm} - 47,65 \text{ mm}/2) \\
 &= 133190767 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_2 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\
 &= 1,25 \times 567,06 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \\
 &= 283528,74 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$a = T_2 / (0,85 \times f'_c \times b)$$

$$\begin{aligned}
 &= 283528,74N / (0,85 \times 35MPa \times 300mm) \\
 &= 31,77mm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr}^{+} &= T_2 \times (d - a/2) \\
 &= 283528,74N \times (337mm - 31,77mm/2) \\
 &= 91045624Nmm
 \end{aligned}$$

Gaya geser di kolom dihitung dari  $M_{pr}$  kedua ujung balok yang menyatu di HBK. Dalam hal ini, tinggi kolom atas dan bawah berbeda, jumlah  $M_{pr}$  yang dipikul oleh kolom atas dan kolom bawah HBK berbanding terbalik dengan panjangnya masing-masing.

$$\begin{aligned}
 M_{k,atas} &= (M_{pr}^{+} + M_{pr}^{-}) \left( \frac{L_b}{L_t + L_b} \right) \\
 &= (91045624 + 133190767) \left( \frac{1,75}{3,5 + 1,75} \right) \\
 &= 74745464Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{k,bawah} &= (M_{pr}^{+} + M_{pr}^{-}) \left( \frac{L_b}{L_t + L_b} \right) \\
 &= (91045624 + 133190767) \left( \frac{3,5}{3,5 + 1,75} \right) \\
 &= 149490927Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{atas} &= \frac{M_{k,atas}}{L_t/2} \\
 &= \frac{74745464}{3500/2} \\
 &= 42711,694N
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{bawah} &= \frac{M_{k,bawah}}{L_b/2} \\
 &= \frac{149490927}{1750/2}
 \end{aligned}$$



$$= 170846,77N$$

Sehingga gaya geser di kolom atas:

$$\begin{aligned} V_{u,atas} &= T_1 + T_2 - V_{atas} \\ &= 425293,11N + 283528,74N - 42711,694N \\ &= 666110,16N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{u,bawah} &= T_1 + T_2 - V_{bawah} \\ &= 425293,11N + 283528,74N - 170846,77N \\ &= 537975,08N \end{aligned}$$

Diambil gaya geser yang terbesar, yaitu  $V_u = 666110,16N$

Kontrol HBK yang terkekang pada keempat sisi untuk arah melintang:

$$\begin{aligned} \phi V_n &\geq V_u \\ 1810320N &\geq 666110,16N \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

#### 4.5.4 Perencanaan Dinding Geser

Dinding geser merupakan struktur primer yang menahan beban lateral terutama beban gempa. Dinding geser termasuk struktur yang bekerjanya hampir sama dengan balok kantilever namun dalam arah vertikal. Dalam tugas akhir ini ada 2 tipe dinding geser, yaitu dinding geser dalam arah X dan dinding geser dalam arah Y.

##### 4.5.4.1 Data Perencanaan

Dinding geser yang akan dihitung adalah dinding geser arah X. adapun data-data perencanaan yang diketahui adalah sebagai berikut

- Mutu beton,  $f'_c$  = 35 MPa
- Mutu baja lentur,  $f_y$  = 400 MPa

- Mutu baja geser,  $f_y$  = 400 MPa
- Panjang dinding geser = 4550 mm
- Selimut beton,  $c$  = 40 mm
- Tebal dinding geser = 300 mm
- Tinggi dinding geser = 64900 mm
- $\beta = 0,85 - 0,05/7(f_c' - 28) = 0,8$

perhitungan dinding geser mengacu pada SNI 2847-2013 pasal 21.9 mengenai dinding struktur khusus yang membentuk bagian sistem penahan gaya seismik.

#### 4.5.4.2 Kebutuhan Tulangan Dinding Geser

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.9.2.2 menyebutkan paling sedikit dua tirai tulangan harus digunakan pada suatu dinding apabila:

$$V_u \geq 0,17 A_{cv} \lambda \sqrt{f_c'}$$

Dari program bantu SAP 2000, didapatkan gaya-gaya dalam pada dinding geser dengan kombinasi envelope yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.38 Gaya-gaya Dalam Pada Dinding Geser

Kombinasi Beban	Gaya Dalam		
	Aksial (kN)	Momen (kN)	Geser (kN)
Envelope	7177,82	66,81	70,667

$$A_{cv} = 300mm \times 4550mm$$

$$= 1365000mm^2$$

$$0,17 A_{cv} \lambda \sqrt{f_c'} = 0,17 \times 1365000 \times 1 \times \sqrt{35}$$

$$= 1372826,314N$$

$$V_u \geq 0,17 A_{cv} \lambda \sqrt{f_c'}$$

$$70667N \leq 1372826,314N \text{ (tidak memenuhi)}$$

Maka dinding geser tidak membutuhkan 2 lapis tulangan. Tetapi dalam SNI 2847-2013 pasal 14.3.4 menjelaskan untuk dinding dengan tebal lebih dari 250mm, harus mempunyai tulangan untuk setiap arah dipasang dalam 2 lapis sejajar.

$$tebal \geq 250mm$$

$$300mm \geq 250mm \text{ (memenuhi)}$$

Maka dinding geser dipasang 2 lapis tulangan

#### 4.5.4.3 Kuat Geser Pada Shear Wall

SNI 2847-2013 pasal 21.9.4.4 menyebutkan untuk semua dinding vertikal yang menahan gaya lateral yang sama, kombinasi  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar dari  $0,66A_{cv}\sqrt{f'_c}$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,66A_{cv}\sqrt{f'_c} \\ &= 0,66 \times 1365000 \times \sqrt{35} \\ &= 5329796,277N \\ \phi V_n &= 0,6 \times 5329796,277N \\ &= 3197877,77N \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} \phi V_n &\geq V_u \\ 3197877,77N &\geq 70667N \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

#### 4.5.4.4 Penulangan Arah Horizontal Dinding Geser

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.9.4.1,  $V_n$  dinding struktur tidak boleh melebihi:

$$V_n = A_{cv}(\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y)$$

Dimana koefisien  $\alpha_c$  adalah 0,25 untuk  $h_w/l_w$  kurang dari 1,5. Apabila  $h_w/l_w$  lebih dari 2 maka  $\alpha_c$  adalah 0,17.

$$\begin{aligned} h_w/l_w &= 64900\text{mm}/4550\text{mm} \\ &= 14,3 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} h_w/l_w &\geq 2 \\ 14,3 &\geq 2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka  $\alpha_c$  adalah 0,17

Direncanakan tulangan horizontal:

- Diameter,  $D$  = 13 mm
- Jarak tulangan,  $s$  = 200 mm
- Jumlah tulangan 1 baris,  $n$  = 2 lapis

$$\begin{aligned} A_s &= 1/4 \pi D^2 n \\ &= 1/4 \times \pi \times 13^2 \times 2 \\ &= 265,46\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_t &= A_s / (t \times s) \\ &= 265,46\text{mm}^2 / (300\text{mm} \times 200\text{mm}) \\ &= 0,0044 \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 21.9.2.1 menyebutkan bahwa rasio tulangan badan terdistribusi,  $\rho_t$ , tidak boleh melebihi 0,0025

$$\begin{aligned} \rho_t &\geq 0,0025 \\ 0,0044 &\geq 0,0025 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka  $\rho_t$  dapat digunakan. Selanjutnya dapat menghitung nilai kuat geser nominal,  $V_n$  seperti berikut inii:

$$\begin{aligned} V_n &= A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \\ &= 1365000 \times (0,17 \times 1 \times \sqrt{35} + 0,0044 \times 400) \end{aligned}$$

$$= 3788553,985N$$

$$\emptyset V_n = 0,6 \times 3788553,985N$$

$$= 2273132,391N$$

Kontrol:

$$\emptyset V_n \geq V_u$$

$$2273132,391N \geq 120679,2N \text{ (memenuhi)}$$

Maka tulangan geser yang dipasang secara horizontal adalah 2D13-200.

#### 4.5.4.5 Kontrol Komponen Batas Khusus

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.9.6.3 dinding struktur harus didesain memiliki elemen pembatas khusus pada batas-batas dan tepi-tepi dinding dimana tegangan tekan serat terjauh maksimum, terkait dengan kombinasi beban termasuk beban gempa, melebihi  $0,2f_c'$

$$\frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u \times y}{I} \geq 0,2f_c'$$

$$\frac{7177822,7}{(4550 \times 300)} + \frac{66813300 \times 2275}{10237500000} \geq 0,2 \times 35$$

$$20,11MPa \geq 7MPa \text{ (memenuhi)}$$

Maka dinding geser diperlukan batas komponen khusus.

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.9.6.2 dinding geser harus didesain memiliki elemen pembatas khusus apabila memenuhi syarat berikut:

$$c \geq \frac{l_w}{600(\delta_u/h_w)}$$

Dimana,

-  $c$  = jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral

- $l_w$  = panjang dinding geser
- $\delta_u$  = perpindahan desain
- $h_w$  = tinggi dinding geser dari dasar sampai tepi atas

$$\begin{aligned}\delta_u/h_w &= 57,35/64,9 \\ &= 0,0008 \leq 0,007\end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 21.9.6.2 menjelaskan bahwa nilai  $\delta_u/h_w$  tidak boleh kurang dari 0,007. Karena dalam perhitungan nilai  $\delta_u/h_w$  kurang dari 0,007, maka diambil nilai  $\delta_u/h_w = 0,007$

$$\begin{aligned}\frac{l_w}{600(\delta_u/h_w)} &= \frac{4550}{600(0,007)} \\ &= 1083,33mm\end{aligned}$$

$$c = \frac{A_s \times f_y \times \beta_1}{0,85 \times f_c' \times b}$$

Direncanakan:

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 24 \text{ buah (jumlah tulangan pada sisi tarik)}$$

$$\begin{aligned}A_s &= 1/4 \times \pi \times D^2 \times n \\ &= 1/4 \times \pi \times 22^2 \times 24 \\ &= 9123,185mm^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c &= \frac{9123,185 \times 400 \times 0,794}{0,85 \times 35 \times 300} \\ &= 324,65mm\end{aligned}$$

Kontrol:

$$c \geq \frac{l_w}{600(\delta_u/h_w)}$$

$$324,65mm \leq 1083,33mm \text{ (tidak memenuhi)}$$

Dari perhitungan kontrol elemen batas dinding struktur menggunakan pendekatan perpindahan, ternyata tidak diperlukan elemen pembatas dinding. Tetapi dari perhitungan menggunakan pendekatan tegangan, dinding geser membutuhkan elemen pembatas. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dinding geser memerlukan komponen batas khusus.

Direncanakan komponen batas:

- Lebar komponen batas,  $b = 500$  mm
- Tinggi komponen batas,  $h = 500$  mm

#### 4.5.4.6 Penulangan Arah Vertikal Dinding Geser

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.9.4.3 menyebutkan bahwa dinding harus mempunyai tulangan geser terdistribusi yang memberikan tahanan dalam dua arah pada bidang dinding. Jika  $h_w/l_w$  tidak melebihi 2, rasio tulangan  $\rho_l$  tidak boleh kurang dari rasio tulangan  $\rho_t$ .

Kontrol:

$$\begin{array}{ll} h_w/l_w & \geq 2 \\ 14,3 & \geq 2 \end{array}$$

Maka  $\rho_l$  dapat menggunakan rasio tulangan minimum yaitu 0,0025.

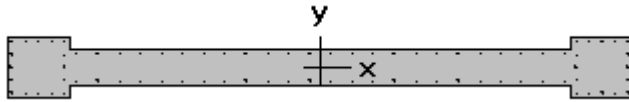
Direncanakan tulangan vertikal:

- Diameter,  $D = 22$  mm
- Jumlah tulangan atas = 24 buah
- Jumlah tulangan bawah = 24 buah

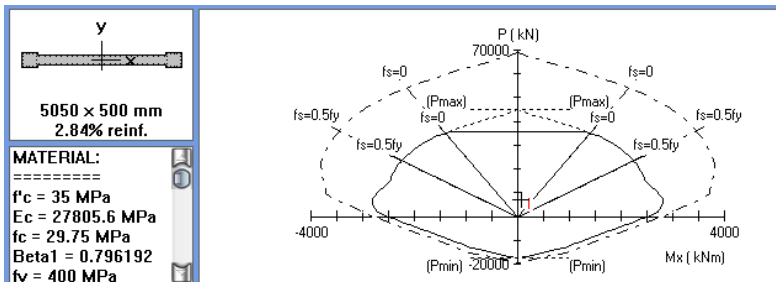
Jumlah tulangan komponen batas:

- Jumlah tulangan atas = 5 buah
- Jumlah tulangan bawah = 5 buah
- Jumlah tulangan samping kanan = 3 buah
- Jumlah tulangan samping kiri = 3 buah

Hasil penulangan dimasukkan ke dalam SpColumn untuk dilihat kapasitasnya. Berikut ini adalah hasil permodelan dari SpColumn.



Gambar 4.45 Desain Tulangan Vertikal Pada Dinding Geser



Gambar 4.46 Diagram Interaksi Antara Aksial dan Momen Pada Dinding Geser

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:				
No.	Pu kN	Mux kNm	PhiMnx kNm	PhiMn/Mu NA
1	7177.82	66.81	2826.80	42.311

Gambar 4.47 Momen Kapasitas Pada Dinding Geser

- jumlah tulangan vertikal = 48D22 (tanpa komponen batas)
- jumlah tulangan komponen batas = 16D22 (1 komponen batas)
- jumlah total tulangan = 80D22

SNI 2847-2013 pasal 21.9.2.1 menyebutkan bahwa spasi tulangan pada masing-masing arah pada dinding struktur tidak boleh melebihi 450mm.

Kontrol spasi tulangan vertikal pada dimensi terpanjang:



$$\begin{aligned}
 s &= (L - 2 \times c - D \times n)/(n - 1) \\
 &= (4550 - 2 \times 40 - 22 \times 24)/(24 - 1) \\
 &= 171 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 s &\geq 450 \text{ mm} \\
 171 \text{ mm} &\geq 450 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Maka tulangan arah vertikal pada dinding geser dipasang 74D22.

#### 4.5.4.7 Tulangan Transversal Komponen Batas Khusus

SNI 2847-2013 pasal 21.6.4.4 (b) menyebutkan bahwa luas tulangan total sengkang persegi,  $A_{sh}$ , tidak boleh kurang dari

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \text{ dan}$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}}$$

Diketahui dimensi komponen batas:

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

Direncanakan:

$$D = 13 \text{ mm}$$

$$s = 100 \text{ mm}$$

$$n = 4 \text{ kaki (pada dimensi terpanjang)}$$

$$n = 4 \text{ kaki (pada dimensi terpendek)}$$

$$\begin{aligned}
 b_{c1} &= b - 2 \times c - 2 \times 0,5 \times D \\
 &= 500 - 2 \times 40 - 2 \times 0,5 \times 13 \\
 &= 407 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$b_{c2} = h - 2 \times c - 2 \times 0,5 \times D$$

$$\begin{aligned}
 &= 500 - 2 \times 40 - 2 \times 0,5 \times 13 \\
 &= 407mm
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai  $x_1$  pada dimensi terpanjang:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= b_{c1}/(n - 1) \\
 &= 407/(5 - 1) \\
 &= 136mm \leq 350mm \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai  $x_1$  pada dimensi terpendek:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= b_{c1}/(n - 1) \\
 &= 407/(5 - 1) \\
 &= 136mm \leq 350mm \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Luas bruto penampang kolom,  $A_g$ , dan luas yang dibatasi tulangan sengkang terluar,  $A_{ch}$ :

$$\begin{aligned}
 A_g &= 500 \times 500 \\
 &= 250000mm^2 \\
 A_{ch} &= (500 - 2 \times 40) \times (500 - 2 \times 40) \\
 &= 176400mm^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan pengekangan kolom,  $A_{sh}$ :

- Luas pengekangan kolom pada dimensi terpanjang,  $A_{sh1}$ :

$$\begin{aligned}
 A_{sh1} &= 0,3 \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \\
 &= 0,3 \frac{100 \times 407 \times 35}{400} \left[ \left( \frac{250000}{176400} \right) - 1 \right] \\
 &= 445,76mm^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sh1} &= 0,09 \frac{s_b c f_c'}{f_{yt}} \\
 &= 0,09 \frac{100 \times 407 \times 35}{400} \\
 &= 320,51 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Diambil nilai yang terbesar yaitu  $A_{sh1} = 445,76 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 A_{sh, pakai} &= 1/4 \times \pi \times 13^2 \times 4 \\
 &= 430,93 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 A_{sh, pakai} &\geq A_{sh1} \\
 430,93 \text{ mm}^2 &\geq 445,76 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

- Luas pengekanan kolom pada dimensi terpendek,  $A_{sh2}$ :

$$\begin{aligned}
 A_{sh1} &= 0,3 \frac{s_b c f_c'}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \\
 &= 0,3 \frac{100 \times 407 \times 35}{400} \left[ \left( \frac{250000}{176400} \right) - 1 \right] \\
 &= 445,76 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sh1} &= 0,09 \frac{s_b c f_c'}{f_{yt}} \\
 &= 0,09 \frac{100 \times 407 \times 35}{400} \\
 &= 320,51 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Diambil nilai yang terbesar yaitu  $A_{sh1} = 445,76 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 A_{sh, pakai} &= 1/4 \times \pi \times 13^2 \times 4 \\
 &= 430,93 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 A_{sh,pakai} &\geq A_{sh1} \\
 430,93\text{mm}^2 &\geq 445,76\text{mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Maka, tulangan transversal yang dipakai pada komponen batas dinding geser adalah 8D13-100

Tabel 4.39 Rekapitulasi Penulangan Dinding Geser

Tipe	Tebal	Tulangan vertikal	Tulangan horizontal	Tulangan Geser		
				b/h	Tulangan Verikal	Tulangan Geser
SWX	30cm	D22-170	D13-200	50/50	16D22	4D13-100
SWY	30cm	D22-170	D13-200	50/50	16D22	4D13-100

#### 4.5.5 Perencanaan Balok Pratekan

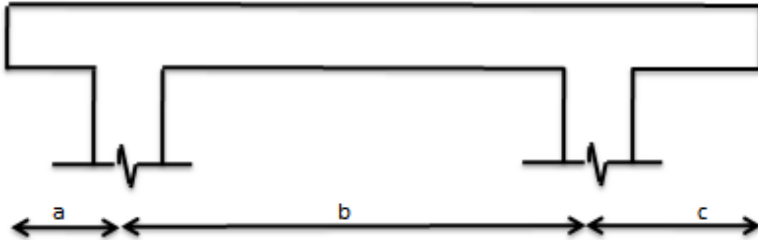
Beton pratekan merupakan komponen struktur primer yang terdiri dari gabungan beton mutu tinggi dan baja mutu tinggi. Beton pratekan pada tugas akhir ini digunakan untuk balok pada bentang yang panjang pada ruang pertemuan. Dengan digunakannya balok pratekan, maka dimensi penampang balok menjadi lebih kecil dibandingkan menggunakan balok beton bertulang biasa. Metode yang digunakan untuk balok pratekan pada tugas akhir ini adalah dengan metode paska tarik (*post-tensioned*).

##### 4.5.5.1 Data perencanaan

Balok pratekan pada tugas akhir ini yang akan ditulis dalam laporan tugas akhir adalah perhitungan balok pratekan tipe 1 (BP1) dengan data-data sebagai berikut.

- Mutu beton,  $f_c'$  = 40 MPa
- Mutu baja lentur,  $f_y$  = 400 MPa
- Mutu baja geser,  $f_y$  = 240 MPa
- Panjang balok = 13550 mm
- Panjang kantilever kiri,  $a$  = 950 mm
- Panjang antar kolom,  $b$  = 11550 mm
- Panjang kantilever kanan,  $c$  = 1050 mm

- Selimut beton,  $c$  = 40 mm
- Lebar balok = 400 mm
- Tinggi balok = 600 mm
- $\beta = 0,85 - 0,05/7(f_c' - 28)$  = 0,764
- tebal pelat = 120 mm



Gambar 4.48 Panjang Balok Pratekan

#### 4.5.5.2 Dimensi Balok Pratekan

Dimensi balok pratekan sesaat setelah transfer dan saat beban layan sama, yaitu balok berbentuk T. karena pada saat transfer, balok pratekan dicor langsung dengan bentuk T, setelah balok pratekan mengeras, dilanjutkan dengan pengecoran pelat di sampingnya.

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 8.12.2, untuk menentukan lebar efektif balok T, lebar efektif slab tidak boleh melebihi seperempat panjang bentang balok, dan lebar efektif sayap yang menggantung pada masing-masing sisi badan tidak boleh melebihi:

- seperempat bentang balok

$$\begin{aligned}
 b_{eff} &= 1/4L \\
 &= 1/4 \times 11550\text{mm} \\
 &= 2887,5\text{mm}
 \end{aligned}$$

- delapan kali tebal slab

$$b_{eff} = b_w + 2 \times (8t)$$

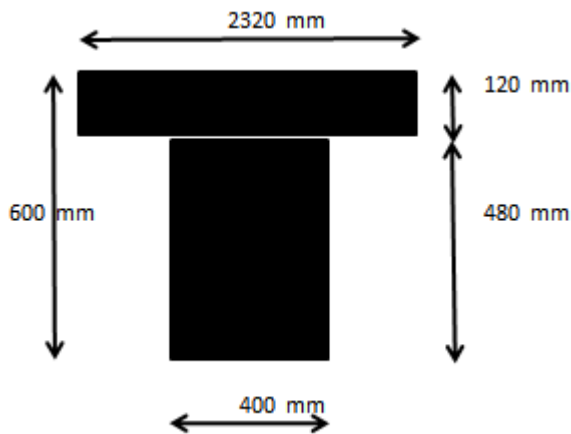
$$\begin{aligned}
 &= 400\text{mm} + 2 \times (8 \times 120\text{mm}) \\
 &= 2320\text{mm}
 \end{aligned}$$

- setengah jarak bersih ke badan di sebelahnya

$$\begin{aligned}
 b_{eff} &= b_w + 1/2 \times (L_{x,kiri} + L_{x,kanan}) \\
 &= 400\text{mm} + 1/2 \times (4850\text{mm} + 2600\text{mm}) \\
 &= 4125\text{mm}
 \end{aligned}$$

dimana  $L_{x,kiri}$  merupakan panjang pelat di sebelah kiri balok pratekan, dan  $L_{x,kanan}$  merupakan panjang pelat di sebelah kanan balok pratekan.

$b_{eff}$  diambil yang terkecil yaitu 2320mm.



Gambar 4.49 Penampang Balok Pratekan

$$\begin{aligned}
 A_{pelat} &= b_{eff} \times t_{pelat} \\
 &= 2320\text{mm} \times 120\text{mm} \\
 &= 278400\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{balok} &= b \times (h - t_{pelat}) \\
 &= 2320\text{mm} \times (600\text{mm} - 120\text{mm})
 \end{aligned}$$

$$= 192000\text{mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{total} &= A_{pelat} + A_{balok} \\ &= 278400\text{mm}^2 + 192000\text{mm}^2 \\ &= 470400\text{mm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan titik berat balok T:

$$\begin{aligned} Y_{top} &= (A_b \times y_b + A_p \times y_p) / A_t \\ &= ((192000 \times (120 + 1/2 \times 480) + 278400 \times (1/2 \times 120)) / 470400 \\ &= 182,45\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{bottom} &= h - Y_{top} \\ &= 600\text{mm} - 182,45\text{mm} \\ &= 417,55\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_t &= Y_{top} - 1/2 \times t_{pelat} \\ &= 182,45\text{mm} - 1/2 \times 120\text{mm} \\ &= 122,45\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_b &= Y_{bottom} - 1/2 \times (h_{balok} - t_{pelat}) \\ &= 417,55\text{mm} - 1/2 \times (600\text{mm} - 120\text{mm}) \\ &= 177,55\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{komposit} &= 1/12 \times b \times h^3 + A_{balok} \times d_b^2 + 1/12 \times b_{eff} \times t_{pelat}^3 + A_{pelat} \times d_t^2 \\ &= 1/12 \times 400\text{mm} \times (600\text{mm})^3 + 192000\text{mm}^2 \times (177,55\text{mm})^2 + 1/12 \times 2320\text{mm} \times (120\text{mm})^3 + 278400\text{mm}^2 \times (122,45\text{mm})^2 \\ &= 14247418776\text{mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{top} &= I_{komposit} / Y_{top} \\ &= 14247418776\text{mm}^4 / 182,45\text{mm} \\ &= 78089879,2\text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$W_{bottom} = I_{komposit} / Y_{bottom}$$

$$\begin{aligned}
 &= 14247418776 \text{ mm}^4 / 417,55 \text{ mm} \\
 &= 34121384,2 \text{ mm}^2 \\
 K_{top} &= W_{top} / A_{total} \\
 &= 78089879,2 \text{ mm}^2 / 470400 \text{ mm}^2 \\
 &= 166,01 \text{ mm} \\
 K_{bottom} &= W_{bottom} / A_{total} \\
 &= 34121384,2 \text{ mm}^2 / 470400 \text{ mm}^2 \\
 &= 72,54 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### 4.5.5.3 Tegangan Ijin Balok

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton saat belum keras, diambil waktu curing 14 hari, sehingga nilai  $f_{ci}$  dihitung dengan cara berikut:

$$\begin{aligned}
 f_{ci} &= 0,88 \times f_c' \\
 &= 0,88 \times 40 \text{ MPa} \\
 &= 35,2 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 18.4.1, tegangan ijin kelas U untuk beton pratekan sesaat setelah penyaluran prategang (sebelum kehilangan) adalah sebagai berikut:

Tegangan tekan:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{tk} &= 0,60 \times f_{ci} \\
 &= 0,60 \times 35,2 \text{ MPa} \\
 &= 21,12 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tegangan tarik:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{tr} &= 0,25 \times \sqrt{f_c'} \\
 &= 0,25 \times \sqrt{40 \text{ MPa}} \\
 &= 1,48 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$



Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 18.4.2, tegangan ijin kelas U untuk beton pratekan saat beban layan (setelah kehilangan pratekan) adalah sebagai berikut:

Tegangan tekan akibat beban tetap:

$$\begin{aligned}\sigma_{tk} &= 0,45 \times f_c' \\ &= 0,45 \times 40MPa \\ &= 18MPa\end{aligned}$$

Tegangan tekan akibat beban total:

$$\begin{aligned}\sigma_{tk} &= 0,60 \times f_c' \\ &= 0,60 \times 40MPa \\ &= 24MPa\end{aligned}$$

Tegangan tarik:

$$\begin{aligned}\sigma_{tr} &= 0,62 \times \sqrt{f_c'} \\ &= 0,62 \times \sqrt{40MPa} \\ &= 3,92MPa\end{aligned}$$

#### 4.5.5.4 Beban dan Mekanika Balok Pratekan

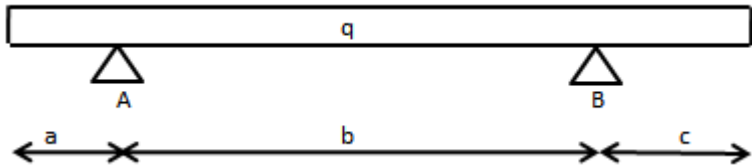
Perhitungan beban pada balok pratekan dihitung menurut 2 kondisi, yaitu sesaat setelah transfer dan saat beban layan (komposit).

##### 1. Sesaat Setelah Transfer

Pada saat transfer, beban yang terdapat pada balok pratekan adalah berat sendiri balok pratekan.

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri balok} &= BJ \times A_{total} \\ &= 2400kg/m^3 \times 0,4704m^2 \\ &= 1128kg/m\end{aligned}$$

Balok pratekan pada saat transfer dimodelkan sebagai tumpuan sederhana, sehingga permodelan mekanika teknik adalah sebagai berikut



Gambar 4.50 Mekanika Teknik Balok Pratekan Sesaat Setelah Transfer

Diketahui:

- Panjang kantilever kiri,  $a = 950 \text{ mm}$
- Panjang antar kolom,  $b = 11550 \text{ mm}$
- Panjang kantilever kanan,  $c = 1050 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 \sum MA &= 0 \\
 0 &= -V_B \times b + q \times 0,5 \times (b+c)^2 - q \times 0,5 \times a^2 \\
 0 &= -V_B \times 11,55 + 1128 \times 0,5 \times (11,55+1,05)^2 - 1128 \times 0,5 \times 0,95^2 \\
 V_B &= 7714,93 \text{ kg} \\
 \sum MB &= 0 \\
 0 &= V_A \times b + q \times 0,5 \times (b+a)^2 - q \times 0,5 \times c^2 \\
 0 &= V_A \times 11,55 + 1128 \times 0,5 \times (11,55+0,95)^2 - 1128 \times 0,5 \times 1,05^2 \\
 V_A &= 7582,48 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Perhitungan gaya dalam lintang:

$$\begin{aligned}
 x &= 0,95 \text{ m (lihat kiri)} \\
 DA &= -q \times a \\
 &= -1128 \times 0,95 \\
 &= -1072,51 \text{ kg} \\
 x &= 0,95 \text{ m (lihat kanan)} \\
 DA &= q \times (b+c) - V_B \times b \\
 &= 1128 \times (11,55+1,05) - 7714,93 \times 11,55 \\
 &= 6642,415 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x &= 12,5\text{m (lihat kiri)} \\
 DB &= -q \times (b+a) - VA \times b \\
 &= -1128 \times (11,55+0,95) - 7582,48 \times 11,55 \\
 &= -6529,52\text{kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x &= 12,5\text{m (lihat kanan)} \\
 DB &= q \times c \\
 &= 1128 \times 1,05 \\
 &= 1185,408\text{kg}
 \end{aligned}$$

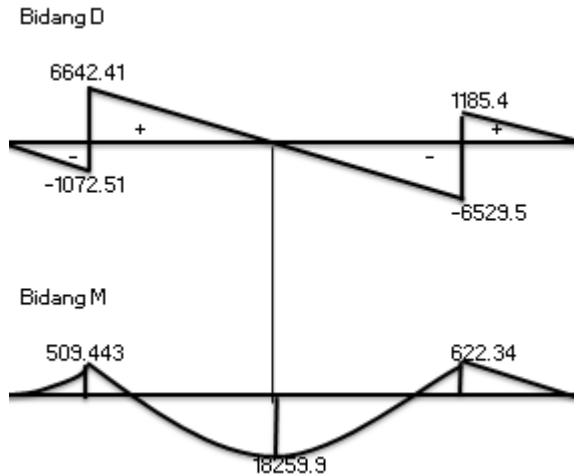
$$\begin{aligned}
 D_{max} &= 0 \\
 x &= (-q \times a + VA)/q \\
 &= (-1128 \times 0,95 + 7582,48)/1128 \\
 &= 5,77\text{m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan gaya dalam momen:

$$\begin{aligned}
 M_{tump\ kiri} &= 1/2 \times q \times a^2 \\
 &= 1/2 \times 1128 \times 0,95^2 \\
 &= 509,44\text{kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{tump\ kanan} &= 1/2 \times q \times c^2 \\
 &= 1/2 \times 1128 \times 1,05^2 \\
 &= 622,34\text{kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{lapangan} &= 1/2 \times q \times (a + X)^2 - VA \times X \\
 &= 1/2 \times 1128 \times (0,95 + 5,77)^2 - 7582,48 \times 5,77 \\
 &= 18259,91\text{kgm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.51 Bidang Lintang (D) dan Momen (M)

## 2. Saat Beban Layan

Pada saat beban layan, gaya-gaya dalam langsung diambil dari program bantu SAP dengan kombinasi beban 1D+1L



Gambar 4.52 Momen Tumpuan Balok Pratekan Kombinasi 1D+1L



Gambar 4.53 Momen Lapangan Balok Pratekan Kombinasi 1D+1L

$$M_{tumpuan} = 36228.51 \text{ kgm}$$

$$M_{lapangan} = 28890.53 \text{ kgm}$$

#### 4.5.5.5 Analisa Gaya Awal Pratekan

Analisa gaya pratekan dilakukan dengan merencanakan tendon tunggal dengan jarak eksentrisitas yang kemudian didapatkan gaya pratekan awal. Analisa gaya pratekan dilakukan di momen maksimum pada daerah lapangan. Analisa gaya pratekan dilakukan pada 2 kondisi, yaitu sesaat setelah transfer dan saat beban layan.

##### 1. Sesaat Setelah Transfer

Direncanakan eksentrisitas dari letak tendon ke sumbu netral pada tengah bentang, yaitu:

$$\begin{aligned} d' &= 120 \text{ mm} \\ e &= Y_{bottom} - d' \\ &= 417.55 \text{ mm} - 120 \text{ mm} \\ &= 297.55 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} d' &= \text{jarak dari serat bawah ke tendon} \\ e &= \text{jarak dari tendon ke sumbu netral} \\ Y_{bottom} &= \text{jarak dari serat bawah ke sumbu netral} \end{aligned}$$

Tegangan pada serat atas:

$$\begin{aligned} \sigma_{tr} &\geq -\frac{F_o}{A_{total}} + \frac{F_o \times e}{W_{top}} - \frac{M_{balok}}{W_{top}} \\ 1.48 &\geq -\frac{F_o}{470400} + \frac{F_o \times 297.55}{78089879.2} - \frac{182599119}{78089879.2} \\ F_o &\leq 2268640 \text{ N} \end{aligned}$$

Tegangan pada serat bawah:

$$\begin{aligned}\sigma_{tk} &\leq -\frac{F_o}{A_{total}} + \frac{F_o \times e}{W_{bottom}} - \frac{M_{balok}}{W_{bottom}} \\ -21,12 &\leq -\frac{F_o}{470400} + \frac{F_o \times 297,55}{34121384,2} - \frac{182599119}{34121384,2} \\ F_o &\leq 2440616N\end{aligned}$$

## 2. Saat Beban Layan

Direncanakan eksentrisitas dari letak tendon ke sumbu netral pada tengah bentang, yaitu:

$$\begin{aligned}d' &= 120mm \\ e &= Y_{bottom} - d' \\ &= 417,55mm - 120mm \\ &= 297,55mm\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}d' &= \text{jarak dari serat bawah ke tendon} \\ e &= \text{jarak dari tendon ke sumbu netral} \\ Y_{bottom} &= \text{jarak dari serat bawah ke sumbu netral}\end{aligned}$$

Tegangan pada serat atas:

$$\begin{aligned}\sigma_{tr} &\geq -\frac{F_o}{A_{total}} + \frac{F_o \times e}{W_{top}} - \frac{M_{balok}}{W_{top}} \\ 3,92 &\geq -\frac{F_o}{470400} + \frac{F_o \times 297,55}{78089879,2} - \frac{182599119}{78089879,2} \\ F_o &\leq 4538303N\end{aligned}$$

Tegangan pada serat bawah:

$$\begin{aligned}\sigma_{tk} &\leq -\frac{F_o}{A_{total}} + \frac{F_o \times e}{W_{bottom}} - \frac{M_{balok}}{W_{bottom}} \\ -24 &\leq -\frac{F_o}{470400} + \frac{F_o \times 297,55}{34121384,2} - \frac{182599119}{34121384,2}\end{aligned}$$

$$F_o \leq 2998450N$$

Dari kedua kondisi di atas, diambil gaya pratekan awal rencana yang terkecil, yaitu  $2268640MPa$

direncanakan:

$$F_o = 1600000N$$

$$F_o = 1600kN$$

#### 4.5.5.6 Pemilihan Strand dan Tendon Yang Digunakan

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 18.5, tegangan tarik baja prategang tidak boleh melebihi:

- Akibat gaya penarikan (jacking) baja prategang sebesar  $0,94f_{py}$  tetapi tidak lebih besar dari  $0,80f_{pu}$
- Tendon pasca tarik, pada perangkat angkur dan kopler (couplers), sesaat setelah transfer gaya sebesar  $0,70f_{pu}$

Direncanakan kabel strand dari brosur VSL seperti pada tabel berikut

Tabel 4.40 Strand VSL diameter 13mm

##### 1.1 - STRAND PROPERTIES 13mm (0.5")

Strand type		prEN 10138 - 3 (2006) Y1860S7		ASTM A 416-06 Grade 270
Nominal diameter	d (mm)	12.5	12.9	12.7
Nominal cross section	$A_p$ (mm <sup>2</sup> )	93	100	98.7
Nominal mass	M (kg/m)	0.726	0.781	0.775
Nominal yield strength	$f_{p0.1s}$ (MPa)	1634 <sup>1)</sup>	1640 <sup>1)</sup>	1675 <sup>2)</sup>
Nominal tensile strength	$f_{pk}$ (MPa)	1860	1860	1860
Specif./min. breaking load	$F_{pk}$ (kN)	173	186	183.7
Young's modulus	(GPa)		approx. 195	
Relaxation <sup>3)</sup> after 1000 h at 20°C and $0.7 \times f_{pk}$	(%)		max. 2.5	

<sup>1)</sup> Characteristic value measured at 0.1% permanent extension

<sup>2)</sup> Minimum load at 1% extension for low-relaxation strand

<sup>3)</sup> Valid for relaxation class acc. to prEN 10138-3 or low-relaxation grade acc. to ASTM A 416-06

Spesifikasi strand adalah sebagai berikut:

- Tipe Strand = ASTM A 416-06 Grade 720
- Diameter = 12,7mm
- Luas Penampang,  $A_p$  = 98,7mm<sup>2</sup>
- Kuat Tarik,  $f_{pu}$  = 1860MPa
- Kuat Leleh,  $f_{py}$  = 1675MPa

Tegangan tarik baja tidak boleh melebihi:

- Saat penarikan (jacking):

$$\begin{aligned} 0,94f_{py} &= 0,94 \times 1675MPa \\ &= 1574,5MPa \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,80f_{pu} &= 0,80 \times 1860MPa \\ &= 1488MPa \end{aligned}$$

- Sesaat setelah transfer gaya:

$$\begin{aligned} 0,70f_{pu} &= 0,70 \times 1860MPa \\ &= 1302MPa \end{aligned}$$

Diambil nilai tegangan tarik baja terkecil yaitu  $f_{st} = 1302MPa$

Luas tendon yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_{ps} &= F_o/f_{st} \\ &= 1600000N/1302MPa \\ &= 1228,88mm^2 \end{aligned}$$

Jumlah strand yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} n &= A_{ps}/A_p \\ &= 1228,88mm^2/98,7mm^2 \\ &= 12,45 \approx 13buah \end{aligned}$$

Setelah diketahui jumlah strand yang dibutuhkan, dipilih tendon dengan spesifikasi sebagai berikut:



Tabel 4.41 Spesifikasi Tendon VSL

## 1.2 - TENDON PROPERTIES 13mm (0.5")

Unit	Strands numbers	Steel area		Breaking load			Corrugated steel duct <sup>1</sup>	Corrugated plastic duct	Steel pipes			
		Ap acc. to prEN		Y1860S7 (prEN)			(recommended)			VSL PT-PLUS <sup>®</sup>		
							Grade 270					
							(ASTM)					
		Ap=93 mm²	Ap=100 mm²	Ap=100 mm²	Ap=93 mm²	Ap=100 mm²	Ap=98.7 mm²	Ø / Øe	e	Ø / Øe	e	Ø ext x t
		[mm²]	[mm²]	[mm²]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
5-1	1	93	100	98.7	173	186	183.7	20/25	3	23/25	6	25.0 x 2.0
5-2	2	186	200	197	346	372	367	35/40	6	46/50	12	31.8 x 2.0/2.5/3.0
5-3	3	279	300	296	519	558	551	35/40	6	76/79	-	33.7 x 2.0/2.5/3.0
5-4	4	372	400	395	692	744	735	40/45	7	76/79	-	42.4 x 2.0/2.5/3.0
5-5	5	465	500	494	865	936	919	45/50	8	58/63	14	48.3 x 2.0/2.5/3.0
5-6	6	558	600	592	1038	1116	1102	45/50	8	58/63	12	
5-7	7	651	700	691	1211	1302	1286	50/57	7	58/63	11	60.3 x 2.0/2.5/3.0
5-12	8	744	800	790	1384	1488	1470	55/62	9	58/63	10	70.0 x 2.0/2.5/3.0
	9	837	900	888	1557	1674	1653	55/62	8	58/63	9	
	10	930	1000	987	1730	1860	1837	60/67	10	58/63	9	
	11	1023	1100	1086	1903	2046	2021	60/67	9	58/63	8	
5-12	12	1116	1200	1181	2076	2232	2204	60/67	8	58/63	7	70.0 x 2.0/2.5/3.0
5-15	13	1209	1300	1283	2249	2418	2388	65/72	9	76/81	14	82.5 x 2.0/2.5/3.0
	14	1302	1400	1382	2422	2604	2572	65/72	8	76/81	13	
5-15	15	1395	1500	1481	2595	2790	2756	70/77	9	76/81	12	82.5 x 2.0/2.5/3.0
5-19	16	1488	1600	1579	2768	2976	2939	70/77	9	76/81	12	88.9 x 2.5/3.0/3.5
	17	1581	1700	1678	2941	3162	3123	75/82	11	76/81	11	
	18	1674	1800	1777	3114	3348	3307	75/82	10	76/81	10	
5-19	19	1767	1900	1875	3287	3534	3490	75/82	9	76/81	9	88.9 x 2.5/3.0/3.5
5-22	20	1860	2000	1974	3460	3720	3674	80/87	10	100/106	20	88.9 x 2.5/3.0/3.5
	21	1953	2100	2073	3633	3906	3858	80/87	9	100/106	19	
5-22	22	2046	2200	2171	3806	4092	4041	80/87	8	100/106	18	88.9 x 2.5/3.0/3.5
5-27	23	2139	2300	2270	3979	4278	4225	85/92	12	100/106	19	101.6 x 3.0/4.0/5.0
	24	2232	2400	2369	4152	4464	4409	85/92	11	100/106	18	
	25	2325	2500	2468	4325	4650	4593	90/97	14	100/106	19	
	26	2418	2600	2566	4498	4836	4776	90/97	13	100/106	18	
5-27	27	2511	2700	2665	4671	5022	4960	95/102	15	100/106	17	101.6 x 3.0/4.0/5.0
5-31	28	2604	2800	2764	4844	5208	5144	95/102	14	100/106	16	108.0 x 3.0/4.0/5.0
	29	2697	2900	2862	5017	5394	5327	95/102	13	100/106	15	
	30	2790	3000	2961	5190	5580	5511	95/102	12	100/106	14	
5-31	31	2883	3100	3040	5363	5766	5695	95/102	11	100/106	13	108.0 x 3.0/4.0/5.0
5-37	32	2976	3200	3158	5536	5952	5878	100/107	13	113/121	20	114.3 x 3.0/4.0/5.0

Direncanakan tendon sesuai spesifikasi dari brosur VSL:

- Jumlah Tendon = 1 buah
- Tipe Tendon = Tendon unit 5-15
- Jumlah Strand = 13 buah (Strand tipe ASTM)
- Luas Area Baja,  $A_{ps}$  = 1283mm<sup>2</sup>
- Min. Breaking Load = 2388kN

Kontrol tegangan Tendon terpasang,  $f_{si}$ :

$$\begin{aligned}
 f_{si} &\leq f_{st} \\
 F_o/A_{ps} &\leq 1302 \text{ MPa} \\
 1600000 \text{ N} / 1283 \text{ mm}^2 &\leq 1302 \text{ MPa} \\
 1247,08 \text{ MPa} &\leq 1302 \text{ MPa} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

#### 4.5.5.7 Kehilangan Gaya Pratekan

Kehilangan pratekan terdapat 2 macam, yaitu kehilangan langsung dan kehilangan tak langsung. Kehilangan langsung

adalah kehilangan gaya awal pratekan sesaat setelah pemberian gaya pratekan pada komponen balok pratekan. Sedangkan kehilangan tak langsung adalah kehilangan gaya awal pratekan yang terjadi secara bertahap dalam waktu yang relative lama. Berikut ini adalah macam-macam kehilangan langsung dan kehilangan tak langsung pada balok pratekan.

Kehilangan Langsung:

- Perpendekan Elastis Beton
- Gesekan
- Pengangkuran
- Kekangan Kolom

Kehilangan Tak Langsung:

- Rangkak Beton
- Susut Beton
- Relaksasi Baja

Berikut ini adalah perhitungan kehilangan pratekan langsung dan tak langsung:

#### 1. Kehilangan Akibat Perpendekan Elastis Beton

Beton mengalami perpendekan akibat gaya tekan dan kabel juga ikut memendek sehingga menyebabkan berkurangnya gaya pratekan awal. Pada metode post tensioned, apabila hanya menggunakan 1 kabel saja, maka tidak terdapat kehilangan pratekan akibat perpendekan elastis beton.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tendon} &= 1 \text{ buah} \\ ES &= 0 \end{aligned}$$

Dimana:

$ES$  = kehilangan akibat perpendekan elastis beton

#### 2. Kehilangan Akibat Gesekan

Tendon yang dipasang parabola atau lengkung, akan menimbulkan gesekan antara sistem penarik dan angkur.

Sehingga tegangan yang ada pada tendon atau kabel prategang akan lebih kecil daripada bacaan pada alat baca tegangan. Kehilangan pratekan akibat gesekan dipengaruhi oleh:

- Efek gerakan/goyangan dari selongsong (wobble) kabel pratekan, untuk itu dipergunakan koefisien wobble K
- Kelengkungan tendon/kabel pratekan, untuk itu digunakan koefisien gesekan  $\mu$

$$F_{pF} = F_i \times e^{-(\mu\alpha+KL)}$$

$$\Delta f_{pF} = F_i - F_{pF}$$

Dimana:

$\Delta f_{pF}$  = besarnya gaya kehilangan pratekan akibat gesekan

$F_{pF}$  = gaya pratekan setelah terjadi kehilangan akibat gesekan

L = panjang balok pratekan = 11,55m

$\alpha$  = sudut kelengkungan tendon =  $8e/L$   
 $= 8 \times 297,55mm/11,55m = 0,176$

$\mu$  = koefisien kelengkungan = 0,15 (strand untai 7 kawat)

K = koefisien wobble = 0,0016/m (strand untai 7 kawat)

$$\begin{aligned} F_{pF} &= F_i \times e^{-(\mu\alpha+KL)} \\ &= 1600000N \times e^{-(0,15 \times 0,176 + 0,0016 \times 11,55)} \\ &= 1529853,9N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pF} &= F_i - F_{pF} \\ &= 1600000N - 1529853,9N \\ &= 70146,09N \end{aligned}$$

Jadi, kehilangan pratekan akibat gesekan sebesar 70146,09N

### 3. Kehilangan Akibat Pengangkur

Pada saat tendon dilepas dari mesin penarik (dongkrak), pada metode paasca tarik setelah pemberian gaya pratekan dan alat

jacking dilepas maka angkur yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung mengalami deformasi sehingga dapat menyebabkan tendon tergelincir. Rumus kehilangan pratekan akibat slip angkur dapat dihitung dengan perumusan berikut.

$$F_{pA} = \Delta f_{pA} \times A_{ps}$$

$$\Delta f_{pa} = \Delta_o \times E_s \times L$$

Dimana:

$F_{pA}$  = besarnya gaya kehilangan pratekan akibat slip angkur

$\Delta f_{pa}$  = kehilangan pratekan akibat slip angkur

$A_{ps}$  = luas penampang tendon =  $1283\text{mm}^2$

$\Delta_o$  = asumsi slip sebesar  $2,5\text{mm}$

$E_s$  = modulus elastisitas baja =  $200000\text{MPa}$

$L$  = panjang nalok pratekan =  $13550\text{mm}$

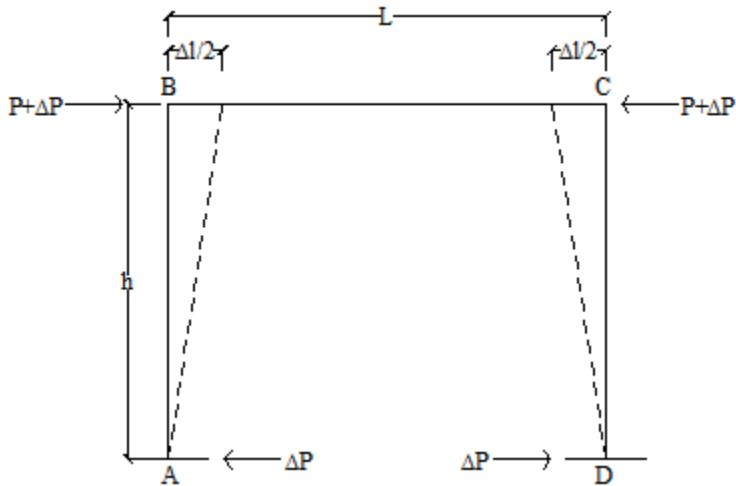
$$\begin{aligned}\Delta f_{pa} &= \Delta_o \times E_s \times L \\ &= 2,5\text{mm} \times 200000\text{MPa} \times 13550\text{mm} \\ &= 36,90\text{MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{pA} &= \Delta f_{pA} \times A_{ps} \\ &= 36,90\text{MPa} \times 1283\text{mm}^2 \\ &= 47343,173\text{N}\end{aligned}$$

Jadi, kehilangan pratekan akibat pengangkuran adalah sebesar  $47343,173\text{N}$

#### 4. Kehilangan Akibat Kekangan Kolom

Beton yang dicor monolit dengan kolom harus diperhitungkan kehilangan pratekan akibat kekangan kolom. Hal ini dikarenakan gaya perlawanan yang diberikan kolom menahan reaksi perpindahan beton akibat gaya jacking yang terjadi. Gaya perlawanan kolom menyebabkan berkurangnya gaya pratekan karena sebagian gaya pratekan digunakan untuk mengatasi perlawanan gaya kolom.



Gambar 4.54 Kehilangan Pratekan Akibat Kekangan Kolom

$$\Delta f_{pA} = (MB - MA)/h$$

Dimana:

$\Delta f_{pA}$  = kehilangan pratekan akibat kekangan kolom

$MA$  = momen di kolom A akibat gaya pratekan

$MB$  = momen di kolom B akibat gaya pratekan

$h$  = tinggi kolom = 3m

$$\begin{aligned}\Delta f_{pA} &= (MB - MA)/h \\ &= (5028,01kgm - (-5190,13kgm))/3m \\ &= 3406,05kg \\ &= 34060,467N\end{aligned}$$

Jadi, kehilangan pratekan akibat kekangan kolom adalah sebesar 34060,467N

Total kehilangan langsung adalah:

$$\text{Kehilangan langsung} = ES + \Delta f_{pF} + F_{pA} + \Delta f_{pA}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0 + 1529853,9 + 47343,173 + 34060,467 \\
 &= 151549,73N
 \end{aligned}$$

Gaya pratekan yang sudah dikurangi kehilangan pratekan langsung adalah

$$\begin{aligned}
 F_{cpi} &= F_o - (ES + \Delta f_{pF} + F_{pA} + \Delta f_{pA}) \\
 &= 1600000N - (151549,73N) \\
 &= 1448450,3N
 \end{aligned}$$

##### 5. Kehilangan Akibat Rangkak Beton

Kehilangan Gaya Prategang yang diakibatkan oleh Creep (Rangkak) dari beton ini merupakan salah satu kehilangan gaya prategang yang tergantung pada waktu (time dependent loss of stress) yang diakibatkan oleh proses penuaan dari beton selama pemakaian. Rangkak dianggap terjadi dengan beban mati permanen yang ditambahkan pada komponen struktur setelah beton diberi gaya pratekan. Bagian dari regangan tekan awal disebabkan pada beton segera setelah peralihan gaya pratekan dikurangi oleh regangan tarik yang dihasilkan oleh beban mati permanen.

$$\begin{aligned}
 F_{pCR} &= CR \times A_{ps} \\
 CR &= K_{cr} \times E_s/E_c \times (f_{cir} - f_{cds})
 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 F_{pCR} &= \text{besarnya gaya kehilangan pratekan akibat rangkak beton} \\
 CR &= \text{kehilangan pratekan akibat rangkak beton} \\
 A_{ps} &= \text{luas penampang tendon} = 1283\text{mm}^2 \\
 K_{cr} &= 1,6 \text{ (post-tensioned)} \\
 E_s &= \text{modulus elastisitas baja} = 200000\text{MPa} \\
 E_c &= \text{modulus elastisitas beton} = 4700\sqrt{f'_c} \\
 &= 4700\sqrt{40} \\
 &= 29725,41\text{MPa}
 \end{aligned}$$

$F_{cpi}$  = gaya pratekan yang sudah dikurangi kehilangan pratekan langsung

$f_{cir}$  = besarnya tegangan di garis berat tendon akibat berat sendiri sesaat setelah transfer

$f_{cds}$  = besarnya tegangan di garis berat tendon akibat beban tambahan pelat

$M_D$  = momen akibat beban sendiri =  $182599119,1 Nmm$  (dari perhitungan mekanika balok pratekan sesaat setelah transfer)

$M_S$  = momen akibat beban mati tambahan =  $25866100 Nmm$  (dari SAP akibat beban mati tambahan)

$$\begin{aligned} f_{cir} &= -\frac{F_{cpi}}{A_{total}} - \frac{F_{cpi} \times e^2}{I} + \frac{M_D \times e}{I} \\ &= -\frac{1448450,3}{470400} - \frac{1448450,3 \times 297,55^2}{14247418776} + \frac{182599119,1 \times 297,55}{14247418776} \\ &= 8,26 MPa \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cds} &= \frac{M_S \times e}{I} \\ &= \frac{25866100 \times 297,55}{14247418776} \\ &= 0,54 MPa \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR &= K_{cr} \times E_s/E_c \times (f_{cir} - f_{cds}) \\ &= 1,6 \times 200000/29725,41 \times (8,26 - 0,54) \\ &= 83,18 MPa \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{pCR} &= CR \times A_{ps} \\ &= 83,76 MPa \times 1283 mm^2 \\ &= 102214,51 N \end{aligned}$$

Jadi, kehilangan pratekan akibat rangkai beton adalah sebesar 102214,51N

#### 6. Kehilangan Akibat Susut Beton

Besarnya susut beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, meliputi proporsi campuran, tipe agregat, tipe semen, tipe perawatan, waktu antara akhir perawatan eksternal dan pemberian pratekan, ukuran komponen struktur dan kondisi lingkungan.

$$F_{pCH} = SH \times A_{ps}$$

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \times K_{sh} \times E_s (1 - 0,0236 \times V/S) \times (100 - RH)$$

Dimana:

$F_{pCH}$  = besarnya gaya kehilangan pratekan akibat susut beton

$SH$  = kehilangan pratekan akibat susut beton

$A_{ps}$  = luas penampang tendon = 1283mm<sup>2</sup>

$K_{sh}$  = koefisien jangka waktu setelah perawatan sampai penerapan pratekan (diambil masa 7 hari) = 0,77

$E_s$  = modulus elastisitas baja = 200000MPa

$V/S$  = perbandingan volume terhadap luas permukaan balok

$$= \frac{400 \times 600 \times 13550}{(2 \times 400 \times 600) + (2 \times 400 \times 13550) + (2 \times 600 \times 13550)}$$

$$= 117,91mm$$

$RH$  = prosentase kelembapan untuk daerah bekasi = 80%

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \times K_{sh} \times E_s (1 - 0,0236 \times V/S) \times (100 - RH)$$

$$= 8,2 \times 10^{-6} \times 0,77 \times 200000 \times (1 - 0,0236 \times 117,91) \times (100 - 80)$$

$$= 45,02MPa$$

$$F_{pCH} = SH \times A_{ps}$$



$$\begin{aligned}
 &= 45,02 \text{MPa} \times 1283 \text{mm}^2 \\
 &= 55329,25 \text{N}
 \end{aligned}$$

Jadi, kehilangan pratekan akibat susut beton adalah sebesar 55329,25N

#### 7. Kehilangan Akibat Relaksasi Baja

Relaksasi baja prategang terjadi pada baja prategang dengan perpanjangan tetap selama suatu periode yang mengalami pengurangan gaya prategang. Pengurangan gaya prategang ini akan tergantung pada lamanya waktu berjalan dan rasio antara prategang awal ( $f_{pi}$ ) dan prategang akhir ( $f_{pu}$ ).

$$F_{PRE} = RE \times A_{ps}$$

$$RE = [K_{re} - J \times (SH + CR + ES)] \times C$$

Dimana:

$F_{PRE}$  = besarnya gaya kehilangan pratekan akibat relaksasi baja

$RE$  = kehilangan pratekan akibat relaksasi baja

$A_{ps}$  = luas penampang tendon = 1283mm<sup>2</sup>

$K_{re}$  = koefisien relaksasi= 138 (Lin dan Burns,2000)

$J$  = faktor waktu = 0,15 (Lin dan Burns,2000)

$SH$  = kehilangan pratekan akibat susut beton

$CR$  = kehilangan pratekan akibat rangkai beton

$ES$  = kehilangan pratekan akibat perpendekan elastis beton

$f_{pi}$  = tegangan tendon terpasang = 1247,08MPa

$f_{pu}$  = kuat tarik tendon = 1860MPa

$\frac{f_{pi}}{f_{pu}}$  = 1247,08MPa/1860MPa

$$= 0,67$$

$C$  = faktor relaksasi yang besarnya tergantung pada jenis kawat/baja prategang = 0,83

$$RE = [K_{re} - J \times (SH + CR + ES)] \times C$$

$$\begin{aligned}
 &= [138 - 0,15 \times (45,02 + 83,76 + 0)] \times 0,83 \\
 &= 98,51 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{PRE} &= RE \times A_{ps} \\
 &= 98,51 \text{ MPa} \times 1283 \text{ mm}^2 \\
 &= 126383,59 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Jadi, kehilangan pratekan akibat relaksasi baja adalah sebesar 126383,59N

Total kehilangan pratekan langsung dan tak langsung dapat dituliskan sebagai berikut:

Tabel 4.42 Kehilangan Gaya Pratekan

Macam Kehilangan Pratekan	Kehilangan Gaya Pratekan		Persentase
	(N)		%
<b>Gaya Pratekan Awal</b>	1600000	N	
<b>Kehilangan Langsung</b>			
Perpendekan Elastis Beton	0	N	0
Gesekan (wobble effect)	70146.08973	N	4.3841306
Pengangkuran	47343.17343	N	2.9589483
Kekangan Kolom	34060.46667	N	2.1287792
<b>Kehilangan Tak Langsung</b>			
Rangak Beton (Creep)	102214.505	N	6.3884066
Susut Beton (Shrinkage)	55329.24984	N	3.4580781
Relaksasi Baja	126383.5857	N	7.8989741
<b>Total Kehilangan Gaya Pratekan</b>	435570.2734	N	27.223142
<b>Gaya Pratekan Setelah Kehilangan</b>	1164429.727	N	72.776858

#### 4.5.5.8 Kontrol Gaya Pratekan Setelah Kehilangan

Setelah mendapatkan gaya pratekan efektif setelah kehilangan, tegangan beton harus dikontrol terhadap tegangan tarik ijin dan tegangan tegangan tekan ijin. Terutama pada tegangan tarik, tidak boleh melebihi tegangan tarik ijin kaena akan mengakibatkan retak pada balok apabila tegangan tarik melebihi tegangan tarik ijin.

##### 1. Sesaat Setelah Penyaluran Prategang (Sebelum Komposit)

###### Daerah lapangan:

Serat atas:

$$d' = 120\text{mm (dari serat bawah)}$$

$$\begin{aligned} e &= Y_{bottom} - d' \\ &= 417,55\text{mm} - 120\text{mm} \\ &= 297,55\text{mm} \end{aligned}$$

Dimana:

$$d' = \text{jarak dari serat bawah ke tendon}$$

$$e = \text{jarak dari tendon ke sumbu netral}$$

$$Y_{bottom} = \text{jarak dari serat bawah ke sumbu netral}$$

###### Tegangan pada serat atas:

$$\sigma_{tr} \geq -\frac{F_e}{A_{total}} + \frac{F_e \times e}{W_{top}} - \frac{M_{balok}}{W_{top}}$$

$$1,48 \geq -\frac{1164429,73}{470400} + \frac{1164429,73 \times 297,55}{78089879,2} - \frac{182599119}{78089879,2}$$

$$1,48\text{MPa} \geq -0,38\text{MPa (memenuhi)}$$

$$\sigma_{tk} \leq -0,38\text{MPa}$$

$$-21,12\text{MPa} \leq -0,38\text{MPa (memenuhi)}$$

###### Tegangan pada serat bawah:

$$\sigma_{tk} \leq -\frac{F_e}{A_{total}} + \frac{F_e \times e}{W_{bottom}} - \frac{M_{balok}}{W_{bottom}}$$

$$-21,12 \leq -\frac{1164429,73}{470400} + \frac{1164429,73 \times 297,55}{34121384,2} - \frac{182599119}{34121384,2}$$

$$-21,12MPa \leq -7,28MPa \text{ (memenuhi)}$$

$$\sigma_{tr} \geq -7,28MPa$$

$$1,48MPa \geq -7,28MPa \text{ (memenuhi)}$$

Daerah tumpuan:

Serat atas:

$$\begin{aligned} d' &= 182,45mm \text{ (dari serat atas)} \\ e &= Y_{top} - d' \\ &= 182,45mm - 182,45mm \\ &= 0mm \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} d' &= \text{jarak dari serat atas ke tendon} \\ e &= \text{jarak dari tendon ke sumbu netral} \\ Y_{top} &= \text{jarak dari serat atas ke sumbu netral} \end{aligned}$$

Tegangan pada serat atas:

$$\sigma_{tk} \leq -\frac{F_e}{A_{total}} + \frac{F_e \times e}{W_{top}} - \frac{M_{balok}}{W_{top}}$$

$$-21,12 \leq -\frac{1164429,73}{470400} + \frac{1164429,73 \times 0}{78089879,2} - \frac{6223392}{78089879,2}$$

$$-21,12MPa \leq -2,40MPa \text{ (memenuhi)}$$

$$\sigma_{tr} \geq -2,40MPa$$

$$1,48MPa \geq -2,40MPa \text{ (memenuhi)}$$

Tegangan pada serat bawah:

$$\sigma_{tr} \geq -\frac{F_e}{A_{total}} + \frac{F_e \times e}{W_{bottom}} - \frac{M_{balok}}{W_{bottom}}$$

$$1,48 \geq -\frac{1164429,73}{470400} + \frac{1164429,73 \times 0}{34121384,2} - \frac{6223392}{34121384,2}$$

$$1,48MPa \geq -2,66MPa \text{ (memenuhi)}$$

$$\sigma_{tk} \leq -2,66MPa$$

$$-21,12MPa \leq -2,66MPa \text{ (memenuhi)}$$

## 2. Saat Beban Layan

Daerah lapangan:

Serat atas:

$$\begin{aligned} d' &= 120mm \\ e &= Y_{bottom} - d' \\ &= 417,55mm - 120mm \\ &= 297,55mm \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} d' &= \text{jarak dari serat bawah ke tendon} \\ e &= \text{jarak dari tendon ke sumbu netral} \\ Y_{bottom} &= \text{jarak dari serat bawah ke sumbu netral} \end{aligned}$$

Tegangan pada serat atas:

$$\sigma_{tr} \geq -\frac{F_e}{A_{total}} + \frac{F_e \times e}{W_{top}} - \frac{M_{balok}}{W_{top}}$$

$$3,92 \geq -\frac{1164429,73}{470400} + \frac{1164429,73 \times 297,55}{78089879,2} - \frac{288905300}{78089879,2}$$

$$3,92MPa \geq -1,74MPa \text{ (memenuhi)}$$

$$\sigma_{tk} \leq -1,74MPa$$

$$-24MPa \leq -1,74MPa \text{ (memenuhi)}$$

Tegangan pada serat bawah:

$$\begin{aligned}\sigma_{tk} &\leq -\frac{F_e}{A_{total}} + \frac{F_e \times e}{W_{bottom}} - \frac{M_{balok}}{W_{bottom}} \\ -24 &\leq -\frac{1164429,73}{470400} + \frac{1164429,73 \times 297,55}{34121384,2} - \frac{288905300}{34121384,2} \\ -24MPa &\leq -4,16MPa \text{ (memenuhi)} \\ \sigma_{tr} &\geq -4,16MPa \\ 3,92MPa &\geq -4,16MPa \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

Daerah tumpuan:

Serat atas:

$$\begin{aligned}d' &= 182,45mm \text{ (dari serat atas)} \\ e &= Y_{top} - d' \\ &= 182,45mm - 182,45mm \\ &= 0mm\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}d' &= \text{jarak dari serat atas ke tendon} \\ e &= \text{jarak dari tendon ke sumbu netral} \\ Y_{top} &= \text{jarak dari serat atas ke sumbu netral}\end{aligned}$$

Tegangan pada serat atas:

$$\begin{aligned}\sigma_{tk} &\leq -\frac{F_e}{A_{total}} + \frac{F_e \times e}{W_{top}} - \frac{M_{balok}}{W_{top}} \\ -24 &\leq -\frac{1164429,73}{470400} + \frac{1164429,73 \times 0}{78089879,2} - \frac{362285100}{78089879,2} \\ -24MPa &\leq 2,16MPa \text{ (memenuhi)} \\ \sigma_{tr} &\geq 2,16MPa \\ 3,92MPa &\geq 2,16MPa \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

Tegangan pada serat bawah:

$$\begin{aligned}\sigma_{tr} &\geq -\frac{F_e}{A_{total}} + \frac{F_e \times e}{W_{bottom}} - \frac{M_{balok}}{W_{bottom}} \\ 3,92 &\geq -\frac{1164429,73}{470400} + \frac{1164429,73 \times 0}{34121384,2} - \frac{362285100}{34121384,2} \\ 3,92MPa &\geq -13,09MPa \text{ (memenuhi)} \\ \sigma_{tk} &\leq -13,09MPa \\ -24MPa &\leq -13,09MPa \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

Jadi, kontrol tegangan sesaat setelah penyaluran pratekan dan saat beban layan sudah terpenuhi. Sehingga gaya pratekan dan eksentrisitas tendon yang digunakan sudah benar.

#### 4.5.5.9 Kontrol Lendutan

Lendutan ijin pada beton pratekan harus memenuhi syarat seperti pada SNI 2847-2013 pasal 9.5.4 yaitu lendutan untuk konstruksi yang menahan atau yang disatukan oleh komponen non struktural sebesar:

$$\begin{aligned}\Delta_{ijin} &= L/480 \\ &= 11550mm/480 \\ &= 24,06mm\end{aligned}$$

Kontrol lendutan pada balok pratekan dihitung berdasarkan 2 kondisi, yaitu sesaat setelah penyaluran pratekan dan saat beban layan.

##### 1. Sesaat Setelah Penyaluran Pratekan (Sebelum Komposit)

###### Lendutan Akibat Tekanan Tendon:

Tekanan tendon menyebabkan balok tertekuk ke atas sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke atas.

$$\begin{aligned}P_o &= 8 \times F_o \times e / L^2 \\ &= 8 \times 1600000N \times 297,55mm / (11550mm)^2 \\ &= 28,55N/mm\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta l_{po} &= \frac{5}{384} \times \frac{P_o \times L^4}{E_c \times I} \\
 &= \frac{5}{384} \times \frac{28,55 \times 11550^4}{29725,41 \times 14247418776} \\
 &= -15,62 \text{ mm (ke atas)}
 \end{aligned}$$

Lendutan Akibat Eksentrisitas di Tumpuan:

Letak tendon di atas pusat garis netral menyebabkan balok tertekuk ke bawah sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke bawah.

$$\begin{aligned}
 \Delta l_{me} &= \frac{1}{8} \times \frac{F_o \times e \times L^2}{E_c \times I} \\
 &= \frac{1}{8} \times \frac{1600000 \times 9 \times 11550^4}{29725,41 \times 14247418776} \\
 &= 0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Lendutan Akibat Berat Sendiri Balok:

Berat sendiri balok menyebabkan balok tertekuk ke bawah sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke bawah.

$$\begin{aligned}
 \Delta l_{qo} &= \frac{5}{384} \times \frac{q \times L^4}{E_c \times I} \\
 &= \frac{5}{384} \times \frac{11,2896 \times 11550^4}{29725,41 \times 14247418776} \\
 &= 6,18 \text{ mm (ke bawah)}
 \end{aligned}$$

Lendutan total sesaat setelah transfer adalah:

$$\begin{aligned}
 \Delta l_{tr} &= \Delta l_{po} + \Delta l_{me} + \Delta l_{qo} \\
 &= -15,62 \text{ mm} + 0 \text{ mm} + 6,18 \text{ mm} \\
 &= -9,44 \text{ mm (ke atas)}
 \end{aligned}$$



Kontrol:

$$\begin{aligned}\Delta_{tr} &\leq \Delta_{ijin} \\ 9,44mm &\leq 24,06mm \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

## 2. Saat Beban Layan

### Lendutan Akibat Tekanan Tendon:

Tekanan tendon menyebabkan balok tertekuk ke atas sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke atas.

$$\begin{aligned}P_o &= 8 \times F_o \times e / L^2 \\ &= 8 \times 1164429,73N \times 297,55mm / (11550mm)^2 \\ &= 20,77N/mm\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta l_{po} &= \frac{5}{384} \times \frac{P_o \times L^4}{E_c \times I} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{20,77 \times 11550^4}{29725,41 \times 14247418776} \\ &= -11,36mm \text{ (ke atas)}\end{aligned}$$

### Lendutan Akibat Eksentrisitas di Tumpuan:

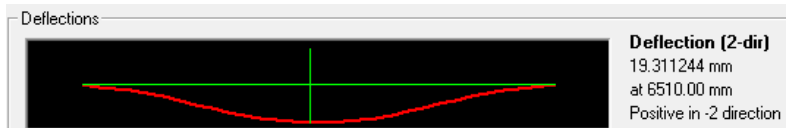
Letak tendon di atas pusat garis netral menyebabkan balok tertekuk ke bawah sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke bawah.

$$\begin{aligned}\Delta l_{me} &= \frac{1}{8} \times \frac{F_o \times e \times L^2}{E_c \times I} \\ &= \frac{1}{8} \times \frac{1164429,73 \times 0 \times 11550^2}{29725,41 \times 14247418776} \\ &= 0mm\end{aligned}$$

### Lendutan Akibat Beban Mati:

Saat beban layan, semua beban sudah bekerja sehingga menyebabkan balok tertekuk ke bawah sehingga lendutan

yang terjadi berupa lendutan ke bawah. Lendutan pada saat beban layan akibat beban mati dan beban hidup langsung diambil dari SAP kombinasi 1D+1L



Gambar 4.55 Lendutan Balok Pratekan Saat Beban Layan Akibat Berat Sendiri

$$\Delta l_{qo} = 19,22mm \text{ (ke bawah)}$$

Lendutan total saat beban layan adalah:

$$\begin{aligned}\Delta l_{tr} &= \Delta l_{po} + \Delta l_{me} + \Delta l_{qo} \\ &= -11,36mm + 0mm + 19,22mm \\ &= 7,85mm \text{ (ke bawah)}\end{aligned}$$

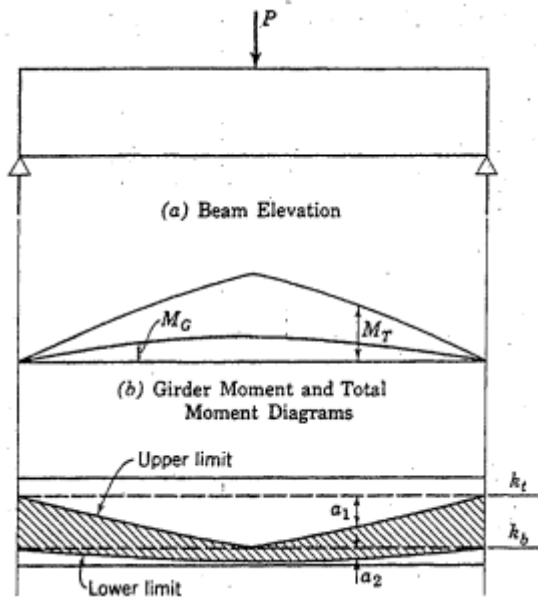
Kontrol:

$$\begin{aligned}\Delta_{tr} &\leq \Delta_{ijin} \\ 7,85mm &\leq 24,06mm \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

Dari kedua kondisi di atas, yaitu sesaat setelah penyaluran pratekan dan saat beban layan, dapat disimpulkan bahwa lendutan pada kedua kondisi di atas sudah memenuhi.

#### 4.5.5.10 Daerah Limit Kabel

Daerah limit kabel adalah daerah dimana kabel tendon pratekan boleh dipasang tanpa menimbulkan tegangan-tegangan yang menyalahi tegangan yang ijin. Letak titik berat tendon tidak boleh berada di atas kern atas dan tidak boleh berada di kern bawah.  $a_1$  diukur dari kern atas ke bawah dan  $a_2$  diukur dari kern bawah ke bawah.



Gambar 4.56 Daerah Limit Kabel (Lin dan Burns, 2000)

Menghitung jari-jari inersia:

$$\begin{aligned}
 i &= \sqrt{\frac{I_c}{A_g}} \\
 &= \sqrt{\frac{14247418776}{470400}} \\
 &= 174,03mm
 \end{aligned}$$

Batas paling atas letak kabel pratekan agar tidak terjadi tegangan tarik serat paling bawah beton:

$$\begin{aligned}
 k_t &= i^2/y_b \\
 &= 174,03^2/417,55
 \end{aligned}$$

$$= 72,54mm$$

Batas paling bawah letak kabel pratekan agar tidak terjadi tegangan tarik serat paling atas beton:

$$\begin{aligned} k_b &= i^2/y_t \\ &= 174,03^2/182,45 \\ &= 166,01mm \end{aligned}$$

Mencari nilai daerah limit kabel:

Dimana:

$M_T$  = momen total akibat beban mati dan beban hidup hasil SAP 2000

$M_G$  = momen akibat berat sendiri balok pratekan

$F$  = gaya pratekan setelah terjadi kehilangan pratekan

$F_o$  = gaya awal pratekan

$$\begin{aligned} a_1 &= M_T/F \\ &= 290776900Nmm/1170304,8N \\ &= 248,46mm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_2 &= M_G/F_o \\ &= 182599119Nmm/1600000N \\ &= 114,12mm \end{aligned}$$

#### 4.5.5.11 Posisi Tendon

Bentuk lintasan tendon yang dipakai adalah berbentuk parabola. Untuk mengetahui posisi tendon digunakan persamaan garis lengkung.

$$Y_i = \frac{4 \times f \times X_i \times (L - X_i)}{L^2}$$

Dimana:

$Y_i$  = ordinat tendon yang ditinjau

$X_i$  = absis tendon yang ditinjau

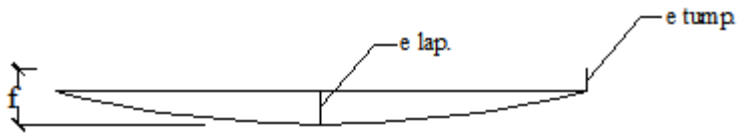
$L$  = panjang bentang = 11550mm

$f$  = tinggi puncak parabola maksimum = 297,55mm

- $Y_t$  = titik berat dari serat atas beton = 182,45mm
- $Y_b$  = titik berat dari serat bawah beton = 417,55mm
- $e_{tump}$  = eksentrisitas di tumpuan = 0mm
- $e_{lap}$  = eksentrisitas di lapangan = 297,55mm

Jarak dari tendon paling atas (tumpuan) ke serat paling bawah beton:

$$\begin{aligned} Y_b + e_{tump} &= 417,55mm + 0mm \\ &= 417,55mm \end{aligned}$$



Gambar 4.57 Posisi Tendon

sehingga perhitungan posisi tendon dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.43 Letak Posisi Tendon

jarak tinjau $X_i$ (mm)	$Y_i$ (mm)	letak tendon dari serat bawah (mm)	letak tendon dari garis netral (mm)
		$c = Y_i + Y_b + e_{tump}$ .	$d = c + Y_b$
(a)	(b)	(c)	(d)
0	0	417,55	0
577.5	56,53	361,02	56,52
1155	107,12	310,43	-107,12
1732.5	151,75	265,8	-151,75
2310	190,43	227,12	-190,43
2887.5	223,16	194,39	-223,16

3465	249,94	167,61	-249,94
4042.5	270,77	146,78	-270,77
4620	285,65	131,90	-285,65
5197.5	294,58	122,98	-294,58
5775	297,55	120	-297,55
6352.5	294,58	122,98	-294,58
6930	285,65	131,90	-285,65
7507.5	270,77	146,78	-270,77
8085	249,94	167,61	-249,94
8662.5	223,16	194,39	-223,16
9240	190,43	227,12	-190,43
9817.5	151,75	265,8	-151,75
10395	107,12	310,43	-107,12
10972.5	56,43	361,02	56,43
11550	0	417,55	0

#### 4.5.5.12 Perhitungan Tulangan Torsi Balok Pratekan

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.5.1 pengaruh torsi harus dicek apakah pengaruh torsi diabaikan atau tidak. Untuk komponen struktur pratekan menggunakan persamaan berikut

$$T_u \leq \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0,33 \lambda \sqrt{f_c'}}$$

Dimana,

$A_{cp}$  = luas penampang solid (mm<sup>2</sup>)

$P_{cp}$  = keliling luar penampang beton (mm)

$f_c'$  = kuat tekan beton pratekan (MPa)

$f_{pc}$  = kuat tekan beton pratekan setelah terjadi kehilangan total  
pratekan (MPa) =  $F/A$   
= 1170304,82/470400  
= 2,49 MPa

$$\begin{aligned} A_{cp} &= 400mm \times 600mm \\ &= 240000mm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (400mm + 600mm) \\ &= 2000mm \end{aligned}$$

Nilai  $T_u$  diperoleh dari SAP dengan kombinasi envelope yaitu

$$T_u = 71880800Nmm$$

Kontrol:

$$T_u \leq \phi 0,083\lambda\sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0,33\lambda\sqrt{f_c'}}$$

$$71880800 \leq 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{35} \left( \frac{240000^2}{2000} \right) \sqrt{1 + \frac{2,49}{0,33 \times 1 \times \sqrt{40}}}$$

$$71880800Nmm \geq 16787470Nmm \text{ (tidak memenuhi)}$$

Maka pengaruh puntir tidak boleh diabaikan dan harus dihitung penulangannya karena melebihi torsi terkecil yang terdeteksi (threshold).

Torsi pada balok induk yang direncanakan termasuk torsi kompatibilitas, sehingga nilai torsi,  $T_u$  boleh direduksi menurut SNI 2847-2013 pasal 11.5.2.2 untuk balok non-prategang adalah sebagai berikut:

$$T_u \leq \phi 0,33\lambda\sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0,33\lambda\sqrt{f_c'}}$$

$$71880800Nmm \leq 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{35} \left( \frac{240000^2}{2000} \right) \sqrt{1 + \frac{2,49}{0,33 \times 1 \times \sqrt{40}}}$$

$$71880800Nmm \leq 66654192Nmm \text{ (memenuhi)}$$

Maka nilai  $T_u$  yang dipakai adalah 66654192Nmm

SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.5 menjelaskan apabila  $T_u$  melebihi torsi terkecil yang terdeteksi (threshold), maka desain penampang berdasarkan pada

$$\phi T_n \geq T_u$$

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

$$T_u / \phi = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.6 menjelaskan bahwa nilai  $A_o$  boleh diambil sama dengan  $0,85A_{oh}$ . Dan nilai  $\theta$  untuk komponen struktur prategang diambil sebesar  $37,5^\circ$ . Sehingga untuk mencari luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan torsi,  $A_t$  dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$A_t = \frac{1,7 \times T_u \times s}{\phi \times 1,7 \times A_{oh} \times f_{yt} \times \cot \theta}$$

Dimana,

$A_{oh}$  = luas yang dibatasi tulangan sengkang torsi terluar ( $\text{mm}^2$ )

$f_{yt}$  = kuat leleh tulangan transversal (MPa)

$\theta$  = sudut antara sumbu strat, diagonal tekan, atau bidang tekan kord tarik komponen struktur

Apabila direncanakan:

$$s = 120 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = (400 - 2 \times 40 - 2 \times 12) \times (600 - 2 \times 40 - 2 \times 12)$$

$$A_{oh} = 146816 \text{ mm}^2$$

$$A_t = \frac{1,7 \times 66654192 \times 120}{0,75 \times 1,7 \times 146816 \times 240 \times \cot 37,5}$$

$$= 81,97 \text{ mm}^2$$

SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7 menjelaskan mengenai luas tulangan longitudinal yang diperlukan adalah sebagai berikut.



$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left( \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

Dimana,

$P_h$  = keliling yang dibatasi tulangan sengkang torsi terluar (mm)

$f_{yt}$  = kuat leleh tulangan transversal (MPa)

$f_y$  = kuat leleh tulangan longitudinal (MPa)

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(400 - 2 \times 40 - 2 \times 12) \times (600 - 2 \times 40 - 2 \times 12)] \\ &= 1584 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga nilai  $A_l$  dapat dihitung seperti berikut ini

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} P_h \left( \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta \\ &= \frac{81,97}{120} 1584 \left( \frac{240}{400} \right) \cot^2 37,5 \\ &= 1837,6323 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.3 menjelaskan bahwa luas tulangan torsi longitudinal,  $A_l$ , tidak boleh kurang dari:

$$A_{l,min} = \frac{0,42 \sqrt{f_c'} A_{cp}}{f_y} - \left( \frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y}$$

Dimana nilai  $A_t/s$  tidak boleh kurang dari  $0,175 b_w / f_{yt}$

$$\begin{aligned} A_t/s &\geq 0,17 b_w / f_{yt} \\ 88,4/100 &\geq 0,17 \times 400/240 \\ 0,74 &\geq 0,292 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Sehingga nilai  $A_{l,min}$  adalah:

$$A_{l,min} = \frac{0,42 \sqrt{f_c'} A_{cp}}{f_y} - \left( \frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,42\sqrt{35} \ 240000}{400} - (0,74)1584 \frac{240}{400} \\
 &= 426,96mm^2
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 A_{l,min} &\leq A_l \\
 426,96mm^2 &\leq 1837,6323mm^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Maka, luasan torsi longitudinal yang diperlukan adalah sebesar  $1981,73mm^2$

Luasan tulangan torsi longitudinal tersebut merupakan luasan dalam seluruh penampang beton. Sedangkan untuk menghitung luasan torsi longitudinal murni, maka luasan tersebut dibagi 2 untuk dipasang ke sisi kanan dan sisi kiri penampang beton.

$$\begin{aligned}
 A_{l,pertu} &= 1/2 A_l \\
 &= 1/2 \times 1837,6323mm^2 \\
 &= 918,82mm^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan torsi longitudinal:

$$D = 19 \text{ mm}$$

$$n = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 A_{l,pakai} &= 1/4 \times \pi \times D^2 \times n \\
 &= 1/4 \times \pi \times 19^2 \times 4 \\
 &= 1134,11mm^2
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 A_{l,pakai} &\geq A_{l,pertu} \\
 1134,11mm^2 &\geq 918,82mm^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Maka tulangan torsi longitudinal yang dipakai pada balok pratekan adalah 4D19

#### 4.5.5.13 Perhitunagn Tulangan Lentur Balok Pratekan

Perencanaan tulangan lemtur balok pratekan dibagi menjadi 2, yaitu pada daerah tumpuan dan daerah lapangan.

##### 4.5.5.13.1 Penulangan Lentur Balok Pratekan Daerah Tumpuan

Momen terbesar diambil dari SAP pada kombinasi envelope. Momen terbesar di daerah tumpuan adalah momen negatif.

$$M_u(-) = 49907,7kgm$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u/\phi \\ &= 49907,7kgm/0,9 \\ &= 55453kgm \\ &= 554530000Nmm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{bxd^2} \\ &= \frac{554530000Nmm}{400mm \times (537mm)^2} \\ &= 4,81N/mm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400MPa}{0,85 \times 40MPa} \\ &= 11,76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400MPa} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,5\rho_b \\
 &= 0,5 \times 0,85 \times \beta \times \left(\frac{f_c'}{f_y}\right) \times \left(\frac{600}{600+f_y}\right) \\
 &= 0,5 \times 0,85 \times 0,764 \times \left(\frac{35}{400}\right) \times \left(\frac{600}{600+400}\right) \\
 &= 0,019
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}\right) \\
 &= \frac{1}{11,76} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,76 \times 4,81}{400}}\right) \\
 &= 0,013
 \end{aligned}$$

Kontrol rasio tulangan:

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &\leq \rho_{perlu} \leq \rho_{maks} \\
 0,0035 &\leq 0,013 \leq 0,019 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,013 \times 400 \text{ mm} \times 537 \text{ mm} \\
 &= 2795,64 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas tulangan,  $A_s$ , ditambahkan seperempat tulangan torsi longitudinal,  $A_l$ , sehingga luasan tulangan yang diperlukan untuk menahan tarik pada bagian beton adalah

$$\begin{aligned}
 A_{s,perlu} &= A_s + 1/4 A_l \\
 &= 2795,64 \text{ mm}^2 + 1/4 \times 1837,6323 \text{ mm}^2 \\
 &= 3255,05 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur pada bagian atas daerah tumpuan balok:

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 9 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{pakai}} &= 1/4 \pi x d^2 x n \\ &= 1/4 \pi x 22^2 x 9 \\ &= 3421,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{b - 2xc - 2x\phi - nx D}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2x40 - 2x12 - 5x22}{9 - 1} \\ &= 12,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{s_{pertu}} &\leq A_{s_{pakai}} \\ 3255,05 \text{ mm}^2 &\leq 3421,19 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned} s &\geq 25 \text{ mm} \\ 12,25 \text{ mm} &\leq 25 \text{ mm} (\text{tidak memenuhi}) \end{aligned}$$

Maka tulangan dipasang 2 lapis

SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.2 menyebutkan bahwa kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka join.

$$\begin{aligned} A'_{s_{pertu}} &= 1/2 A_{s_{pakai}} \\ &= 1/2 x 3421,19 \text{ mm}^2 \\ &= 1710,60 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur pada bagian bawah daerah tumpuan balok:

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 5 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 A'_{s,pakai} &= 1/4x\pi x d^2 x n \\
 &= 1/4x\pi x 22^2 x 5 \\
 &= 1900,66mm^2 \\
 s &= \frac{b-2xc-2x\phi-nxD}{n-1} \\
 &= \frac{400-2x40-2x12-4x22}{5-1} \\
 &= 46,50mm
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 As'_{perlu} &\leq As'_{pakai} \\
 1710,60mm^2 &\leq 1900,66mm^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned}
 s &\geq 25mm \\
 46,50mm &\geq 25mm \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

#### 4.5.5.13.2 Penulangan Lentur Balok Pratekan Daerah Lapangan

Momen terbesar diambil dari SAP pada kombinasi envelope. Momen terbesar di daerah lapangan adalah momen positif.

$$\begin{aligned}
 M_u(+) &= 39736,47kgm \\
 M_n &= M_u/\phi \\
 &= 39736,47kgm/0,9 \\
 &= 44151,6333kgm \\
 &= 441516333Nmm \\
 R_n &= \frac{M_n}{bxd^2} \\
 &= \frac{441516333Nmm}{400mmx(537mm)^2}
 \end{aligned}$$

$$= 3,83N/mm^2$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85x f_c'} \\ &= \frac{400MPa}{0,85x 35MPa} \\ &= 11,765 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400MPa} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,5\rho_b \\ &= 0,5x0,85x\beta x\left(\frac{f_c'}{f_y}\right)x\left(\frac{600}{600+f_y}\right) \\ &= 0,5x0,85x0,764x\left(\frac{35}{400}\right)x\left(\frac{600}{600+400}\right) \\ &= 0,019 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{pertu} &= \frac{1}{m}x\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2xm x R_n}{f_y}}\right) \\ &= \frac{1}{11,765}x\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2x11,765x3,83}{400}}\right) \\ &= 0,0102 \end{aligned}$$

Kontrol rasio tulangan:

$$\begin{aligned} \rho_{min} &\leq \rho_{pertu} \leq \rho_{maks} \\ 0,0035 &\leq 0,0102 \leq 0,019 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho x b x d \\ &= 0,00102x400mmx538,5mm \end{aligned}$$

$$= 2186,39mm^2$$

Luas tulangan,  $A_s$ , ditambahkan seperempat tulangan torsi longitudinal,  $A_l$ , sehingga luasan tulangan yang diperlukan untuk menahan tarik pada bagian beton adalah

$$\begin{aligned} A_{s,perlu} &= A_s + 1/4 A_l \\ &= 2186,39mm^2 + 1/4 \times 1837,6323mm^2 \\ &= 2645,79mm^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur pada bagian bawah daerah lapangan balok:

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$n = 8 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_{spakai} &= 1/4 \pi x d^2 x n \\ &= 1/4 \pi x 22^2 x 8 \\ &= 3041,06mm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{b - 2xc - 2x\phi - nx D}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2x40 - 2x12 - 4x22}{8 - 1} \\ &= 17,14mm \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s,perlu} \leq A_{spakai}$$

$$2645,79mm^2 \leq 3041,06mm^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$s \geq 25mm$$

$$17,14mm \leq 25mm \text{ (tidak memenuhi)}$$

Maka tulangan dipasang 2 lapis



#### 4.5.5.14 Momen Nominal Balok Pratekan

Perhiungan momen nominal dibagi menjadi 2 yaitu pada daerah tumpuan dan daerah lapangan.

##### 4.5.5.14.1 Momen Nominal Daerah Tumpuan

Pada daerah tumpuan pada serat yang tertarik (serat atas) dipasang tulangan 9D22 dengan  $A_s = 3421,19\text{mm}^2$

$$A_{ps} = 1228,88\text{mm}^2$$

$$f_{pu} = 1860\text{MPa}$$

$$f_{py} = 1675\text{MPa}$$

$$\begin{aligned} f_{py}/f_{pu} &= 1675\text{MPa}/1860\text{MPa} \\ &= 0,9005 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 18.7.2 (a) menjelaskan untuk  $f_{py}/f_{pu}$  yang tidak kurang dari 0,9, maka  $\gamma_p$  adalah 0,28

$$\gamma_p = 0,28$$

$$\begin{aligned} d_p &= \text{jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tendon} \\ &= Y_{bottom} + e \\ &= 417,55\text{mm} + 0\text{mm} \\ &= 417,55\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{ps} &= \text{rasio tulangan pratekan terpasang} \\ &= A_{ps}/(b \times d_p) \\ &= 1228,88\text{mm}^2/(400\text{mm} \times 495\text{mm}) \\ &= 0,0062 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \text{rasio tulangan tarik balok pratekan} \\ &= A_s/(b \times d) \\ &= 3421,19\text{mm}^2/(400\text{mm} \times 537\text{mm}) \\ &= 0,016 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho' &= \text{rasio tulangan tarik balok pratekan} \\
 &= A_s' / (b \times d) \\
 &= 1900,66 \text{ mm}^2 / (400 \text{ mm} \times 537 \text{ mm}) \\
 &= 0,0088
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \omega &= \rho \times f_y / f_c' \\
 &= 0,016 \times 400 / 40 \\
 &= 0,159
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \omega' &= \rho' \times f_y / f_c' \\
 &= 0,0088 \times 400 / 40 \\
 &= 0,088
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 18.7.2 (a), tegangan lentur baja prategang saat lentur nominal,  $f_{ps}$ , dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 f_{ps} &= f_{pu} \left\{ 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[ \rho_{ps} \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right] \right\} \\
 &= 1860 \left\{ 1 - \frac{0,28}{0,764} \left[ \rho_{ps} \frac{1860}{40} + \frac{537}{417,5} (0,159 - 0,088) \right] \right\} \\
 &= 1564,83 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b_w} + \frac{A_{ps} \times f_{ps}}{0,85 \times f_c' \times b_w} \\
 &= \frac{3421,19 \times 400}{0,85 \times 40 \times 400} + \frac{1228,88 \times 1611,01}{0,85 \times 40 \times 400} \\
 &= 242,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= \text{luas tulangan lapis 1} \\
 &= 1/4 \times \pi \times D^2 \times n \\
 &= 1/4 \times \pi \times 22^2 \times 6 \\
 &= 2280,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$d_1 = h - c - \emptyset - 1/2 D$$

$$\begin{aligned}
 &= 600 - 40 - 13 - 1/2 \times 22 \\
 &= 536 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s2} &= \text{luas tulangan lapis 2} \\
 &= 1/4 \times \pi \times D^2 \times n \\
 &= 1/4 \times \pi \times 22^2 \times 3 \\
 &= 1140,4 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_2 &= h - c - \emptyset - D - 25 \text{ mm} - 1/2 D \\
 &= 600 - 40 - 13 - 22 - 25 - 1/2 \times 22 \\
 &= 489 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n,lentur} &= A_{s1} \times f_y \times (d_1 - a/2) + A_{s1} \times f_y \times (d_1 - a/2) \\
 &= 2280,8 \times 400 \times (536 - 242,02/2) + 2280,8 \times 400 \times \\
 &\quad (489 - 242,02/2) \\
 &= 546465549 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n,pratekan} &= A_{ps} \times f_{ps} \times (d_p - a/2) \\
 &= 1228,88 \times 1564,83 \times (495 - 242,02/2) \\
 &= 570244664 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_{n,lentur} + M_{n,pratekan} \\
 &= 546465549 \text{ Nmm} + 570244664 \text{ Nmm} \\
 &= 1116710212 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 \emptyset M_n &\geq M_u \\
 0,9 \times 1116710212 \text{ Nmm} &\geq 499077000 \text{ Nmm} \\
 1005039191 \text{ Nmm} &\geq 499077000 \text{ Nmm} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

#### 4.5.5.14.2 Momen Nominal Daerah Lapangan

Pada daerah lapangan pada serat yang tertarik (serat bawah) dipasang tulangan 8D22 dengan  $A_s = 3041,06 \text{ mm}^2$

$$A_{ps} = 1228,88 \text{ mm}^2$$

$$f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{py} = 1675 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} f_{py}/f_{pu} &= 1675 \text{ MPa}/1860 \text{ MPa} \\ &= 0,9005 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 18.7.2 (a) menjelaskan untuk  $f_{py}/f_{pu}$  yang tidak kurang dari 0,9, maka  $\gamma_p$  adalah 0,28

$$\gamma_p = 0,28$$

$$\begin{aligned} d_p &= \text{jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tendon} \\ &= Y_{top} + e \\ &= 182,45 \text{ mm} + 297,55 \text{ mm} \\ &= 480 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{ps} &= \text{rasio tulangan pratekan terpasang} \\ &= A_{ps}/(b \times d_p) \\ &= 1228,88 \text{ mm}^2/(400 \text{ mm} \times 480 \text{ mm}) \\ &= 0,00624 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \text{rasio tulangan tarik balok pratekan} \\ &= A_s/(b \times d) \\ &= 3041,06 \text{ mm}^2/(400 \text{ mm} \times 537 \text{ mm}) \\ &= 0,014 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \text{rasio tulangan tarik balok pratekan} \\ &= A_s'/(b \times d) \\ &= 1520,53 \text{ mm}^2/(400 \text{ mm} \times 537 \text{ mm}) \\ &= 0,0071 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega &= \rho \times f_y/f_c' \\ &= 0,014 \times 400/40 \\ &= 0,142 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega' &= \rho' \times f_y/f_c' \\ &= 0,0071 \times 400/40 \end{aligned}$$

$$= 0,071$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 18.7.2 (a), tegangan lentur baja prategang saat lentur nominal,  $f_{ps}$ , dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\begin{aligned} f_{ps} &= f_{pu} \left\{ 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[ \rho_{ps} \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right] \right\} \\ &= 1860 \left\{ 1 - \frac{0,28}{0,764} \left[ \rho_{ps} \frac{1860}{40} + \frac{537}{480} (0,142 - 0,071) \right] \right\} \\ &= 1603,23 MPa \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b_{eff}} + \frac{A_{ps} \times f_{ps}}{0,85 \times f_c' \times b_{eff}} \\ &= \frac{3041,06 \times 400}{0,85 \times 40 \times 2320} + \frac{1228,88 \times 1603,23}{0,85 \times 40 \times 2320} \\ &= 40,4 mm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s1} &= \text{luas tulangan lapis 1} \\ &= 1/4 \times \pi \times D^2 \times n \\ &= 1/4 \times \pi \times 22^2 \times 6 \\ &= 2280,8 mm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_1 &= h - c - \emptyset - 1/2 D \\ &= 600 - 40 - 13 - 1/2 \times 22 \\ &= 536 mm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s2} &= \text{luas tulangan lapis 2} \\ &= 1/4 \times \pi \times D^2 \times n \\ &= 1/4 \times \pi \times 22^2 \times 2 \\ &= 760,27 mm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2 &= h - c - \emptyset - D - 25 mm - 1/2 D \\ &= 600 - 40 - 13 - 22 - 25 - 1/2 \times 22 \\ &= 489 mm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n,lentur} &= A_{s1} \times f_y \times (d_1 - a/2) + A_{s1} \times f_y \times (d_1 - a/2) \\
 &= 2280,8 \times 400 \times (536-40,42) + 760,27 \times 400 \times (489-40,42) \\
 &= 613140016Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n,pratekan} &= A_{ps} \times f_{ps} \times (d_p - a_{ps}/2) \\
 &= 1228,88 \times 1603,23 \times (480 - 40,4/2) \\
 &= 905889313Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_{n,lentur} + M_{n,pratekan} \\
 &= 613140016Nmm + 905889313Nmm \\
 &= 1519029329Nmm
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &\geq M_u \\
 0,9 \times 1519029329Nmm &\geq 398661500Nmm \\
 1367126396Nmm &\geq 398661500Nmm \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

#### 4.5.5.15 Momen Retak Balok Pratekan

Momen retak merupakan momen yang menyebabkan retak-retak pada serat yang tertarik. SNI 2847-2013 pasal 18.8.2 menjelaskan jumlah total tulangan prategang dan bukan prategang pada komponen struktur dengan tulangan prategang dengan lekatan harus cukup untuk mengembangkan beban terfaktor paling sedikit 1,2 kali beban retak yang dihitung dengan dasar modulus retak  $f_r$  yang ditetapkan pada SNI 2847-2013 pasal 9.5.2.3.

$$M_{cr} = -\left(\frac{F}{A} \times \frac{I}{y_b}\right) - \left(\frac{F \times e \times Y}{I} \times \frac{I}{y_b}\right) + \left(f_r \times \frac{I}{y_b}\right)$$

$$M_{cr} = -\left(\frac{F}{A} \times W_b\right) - (F \times e) + (f_r \times W_b)$$

Dimana:

$$F = \text{gaya pratekan efektif} = 1170304,82N$$

$$\begin{aligned}
 f_r &= \text{modulus keruntuhan} = 0,62\sqrt{f_c'} \\
 &= 0,62\sqrt{40}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3,92 \text{ MPa} \\
 e &= \text{eksentrisitas} = 77,45 \text{ mm} \\
 W_b &= \text{modulus penampang dari serat bawah} \\
 &= 34121384,2 \text{ mm}^3 \\
 A &= \text{luas penampang} = 470400 \text{ mm}^2 \\
 M_{cr} &= -(1164429,73 / 470400 \times 34121384,2) - (1164429,73 \times 0) + (3,92 \times 34121384,2) \\
 &= 49333412,69 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &\geq 1,2 M_{cr} \\
 1300974090 &\geq 1,2 \times 49333412,69 \\
 1300974090 \text{ Nmm} &\geq 59200095 \text{ Nmm (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

#### 4.5.5.16 Perhitungan Tulangan Geser Balok Pratekan

Tulangan geser berfungsi untuk menahan gaya geser yang terjadi akibat beban dari luar. Kuat geser merupakan gabungan dari kuat geser yang disumbangkan oleh beton dan kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser. SNI 2847-2013 pasal 11.3.3 menjelaskan bahwa  $V_c$  diambil dari perhitungan yang lebih kecil dari  $V_{ci}$  dan  $V_{cw}$ .

$$V_{ci} = 0,05\lambda\sqrt{f'_c}b_wd_p + V_d + \frac{V_iM_{cre}}{M_{max}}$$

$$V_{cw} = (0,29\lambda\sqrt{f'_c} + 0,3f_{pc})b_wd_p + V_p$$

Dimana:

$V_{ci}$  = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton bila retak diagonal yang dihasilkan dari kombinasi geser dan momen

$V_{cw}$  = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton bila retak diagonal yang dihasilkan dari tegangan tarik utama yang tinggi dalam badan

$d_p$  = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat baja prategang

- $V_d$  = gaya geser pada penampang akibat beban mati tak terfaktor  
 $V_i$  = gaya geser terfaktor pada penampang akibat beban terapan luar yang terjadi serentak dengan  $M_{max}$   
 $M_{cre}$  = momen yang mengakibatkan retak lentur pada penampang akibat beban terapan luar  

$$= (I/y_t) \left( 0,5\lambda\sqrt{f'_c} + f_{pe} - f_d \right)$$
  
 $M_{max}$  = momen terfaktor maksimum pada penampang akibat beban dari luar  
 $f_{pc}$  = kuat tekan beton pratekan setelah terjadi kehilangan total pratekan (MPa)  $= F/A$   

$$= 1164429,73/470400$$
  

$$= 2,48MPa$$
  
 $V_p$  = komponen vertikal gaya prategang efektif pada penampang  
 $f_{pe}$  = tegangan tekan beton akibat gaya prategang efektif saja (setelah semua kehilangan pratekan terjadi)  
 $f_d$  = tegangan akibat beban mati tak terfaktor

#### Perencanaan Tulangan Geser Tumpuan

Perhitungan kuat geser yang disumbangkan oleh beton akibat tegangan tarik utama yang berlebihan pada tegangan beton:

- $f_{pc}$  = kuat tekan beton pratekan setelah terjadi kehilangan total pratekan (MPa)  $= F/A$   

$$= 1164429,73/470400$$
  

$$= 2,48MPa$$
  
 $P$  = gaya prategang vertikal pada balok pratekan  

$$= 8 \times F \times e/L^2$$
  

$$= 8 \times 1164429,73 \times 77,45/11550^2$$
  

$$= 0N/mm$$
  
 $V_p$  =  $1/2 \times P \times L$



$$\begin{aligned}
 &= 1/2 \times 0 \times 11550 \\
 &= 0N
 \end{aligned}$$

Nilai  $V_p$  pada perhitungan di atas adalah gaya geser pada tumpuan, sedangkan nilai  $V_p$  pada muka join (muka kolom) adalah:

$$b_{kolom} = 400mm$$

$$\begin{aligned}
 x &= 1/2 \times b_{kolom} \\
 &= 1/2 \times 400mm \\
 &= 200mm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_p &= (1/2 L - x) / (1/2 L \times V_p) \\
 &= (1/2 \times 11550 - 200) / (1/2 \times 11550 \times 0) \\
 &= 0N
 \end{aligned}$$

$$d_p = 417,55mm$$

$$\begin{aligned}
 V_{cw} &= (0,29\lambda\sqrt{f'_c} + 0,3f_{pc})b_w d_p + V_p \\
 &= (0,29 \times 1 \times \sqrt{40} + 0,3 \times 2,48)400 \times 417,55 + 0 \\
 &= 342305,175N
 \end{aligned}$$

Perhitungan kuat geser yang disumbangkan oleh beton akibat kombinasi momen dan geser:

$$\begin{aligned}
 f_{pe} &= F/A + F \times e/W_b \\
 &= 1164429,7 / 470400 + 1164429,7 \times 0 / 34121384,2 \\
 &= 2,48MPa
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_d &= \text{momen akibat beban sendiri balok} \\
 &= 164857200Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_d &= M_d/W_b \\
 &= 164857200 / 34121384,2 \\
 &= 4,83MPa
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{cre} &= (I/y_t) \left( 0,5\lambda\sqrt{f_c'} + f_{pe} - f_d \right) \\
 &= (14247418776/182,45) (0,5 \times 1 \times \sqrt{40} + 2,48 - 4,83) \\
 &= 62955188,6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_d &= \text{ gaya geser pada penampang akibat beban mati tak} \\
 &\quad \text{terfaktor (gaya geser pada muka join)} \\
 &= 75345,4993 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_i &= \text{ gaya geser terfaktor pada penampang akibat beban} \\
 &\quad \text{terapan luar yang terjadi serentak dengan } M_{max} \text{ (gaya} \\
 &\quad \text{geser pada muka join)} \\
 &= 172235,248 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{max} &= \text{ momen terfaktor maksimum pada penampang akibat} \\
 &\quad \text{beban dari luar} \\
 &= 499077000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ci} &= 0,05\lambda\sqrt{f_c'}b_wd_p + V_d + \frac{V_iM_{cre}}{M_{max}} \\
 &= 0,05 \times 1 \times \sqrt{40} \times 400 \times 417,5 + 75345,5 + \frac{172235,248 \times 62955188,6}{499077000} \\
 &= 149888,302 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.3.3.1 menyebutkan bahwa nilai  $V_{ci}$  tidak boleh kurang dari:

$$\begin{aligned}
 V_{ci,min} &= 0,17\lambda\sqrt{f_c'}b_wd \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{40} \times 400 \times 537 \\
 &= 230947,462 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{array}{rcl}
 V_{ci} & \geq & V_{ci,min} \\
 149888,302 \text{ N} & \leq & 230947,462 \text{ N (tidak memenuhi)}
 \end{array}$$

Maka  $V_{ci} = 230947,462 \text{ N}$

Dari nilai  $V_{ci}$  dan  $V_{cw}$  diambil nilai yang terkecil yaitu dari nilai  $V_{ci}$ . Maka:

$$V_c = 230947,462N$$

Kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan geser adalah sebesar

$$\begin{aligned} V_s &= (V_u - \phi V_c) / \phi \\ &= ((V_d + V_i + V_p) - \phi V_c) / \phi \\ &= ((75345,5 + 172235,2 + 0) - 0,75 \times 230947,462) / 0,75 \\ &= 96970,1056N \end{aligned}$$

Direncanakan:

$$\begin{aligned} D &= 13 \text{ mm} \\ s &= 120 \text{ mm} \\ n &= 2 \text{ kaki} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v,perlu} &= (V_s \times s) / (f_y \times d) \\ &= (96970,1056 \times 120) / (400 \times 537) \\ &= 69,67mm^2 \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2 menuliskan kombinasi antara geser dan torsi seperti yang dituliskan pada persamaan berikut

$$\begin{aligned} A_v + 2A_t &= 69,67mm^2 + 2 \times 88,4mm^2 \\ &= 246,46mm^2 \end{aligned}$$

Luas minimum sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari

$$\begin{aligned} A_v + 2A_t &\geq 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \\ 246,46mm^2 &\geq 0,062 \sqrt{40} \frac{400 \times 120}{400} \\ 246,46mm^2 &\geq 47,05mm^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v + 2A_t &\geq 0,035 \frac{b_w s}{f_{yt}} \\ 246,46mm^2 &\geq 0,035 \frac{400 \times 120}{400} \end{aligned}$$

$$246,46\text{mm}^2 \geq 42\text{mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} A_{v,pakai} &= 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \\ &= 1/4 \times \pi \times 13^2 \times 2 \\ &= 265,46\text{mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{v,perlu} &\leq A_{v,pakai} \\ 246,46\text{mm}^2 &\leq 265,46\text{mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.2 memberi syarat bahwa sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari berikut ini

-  $d/4$

$$\begin{aligned} s &\leq d/4 \\ 120\text{mm} &\leq 537\text{mm}/4 \\ 120\text{mm} &\leq 123,75\text{mm} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

- enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama tidak termasuk tulangan kulit longitudinal

$$\begin{aligned} s &\leq 6 \times D_{min} \\ 120\text{mm} &\leq 6 \times 22\text{mm} \\ 120\text{mm} &\leq 132\text{mm} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

- 150mm

$$\begin{aligned} s &\leq 150\text{mm} \\ 120\text{mm} &\leq 150\text{mm} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.1 memberi syarat untuk pemasangan tulangan transversal daerah sendi plastis adalah sepanjang dua kali tinggi komponen struktur

$$\begin{aligned}
 2h &= 2 \times 600\text{mm} \\
 &= 1200\text{mm}
 \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah tumpuan dipasang tulangan geser D13-120 dengan panjang 1200mm diukur dari muka joint.

### Perencanaan Tulangan Geser Lapangan

Perhitungan kuat geser yang disumbangkan oleh beton akibat tegangan tarik utama yang berlebihan pada tegangan beton:

$$\begin{aligned}
 f_{pc} &= \text{kuat tekan beton pratekan setelah terjadi kehilangan total pratekan (MPa)} = F/A \\
 &= 1164429,73/470400 \\
 &= 2,48\text{MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= \text{gaya prategang vertikal pada balok pratekan} \\
 &= 8 \times F \times e/L^2 \\
 &= 8 \times 1164429,73 \times 297,55/11550^2 \\
 &= 20,78\text{N/mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_p &= 1/2 \times P \times L \\
 &= 1/2 \times 20,78 \times 11550 \\
 &= 140769,979\text{N}
 \end{aligned}$$

Nilai  $V_p$  pada perhitungan di atas adalah gaya geser pada tumpuan, sedangkan nilai  $V_p$  pada daerah lapangan adalah:

$$x = 1200\text{mm}$$

$$\begin{aligned}
 V_p &= (1/2 L - x)/(1/2 L \times V_p) \\
 &= (1/2 \times 11550 - 1200)/(1/2 \times 11550 \times 140769,979) \\
 &= 111519,074\text{N}
 \end{aligned}$$

$$d_p = 480\text{mm}$$

$$V_{cw} = (0,29\lambda\sqrt{f'_c} + 0,3f_{pc})b_w d_p + V_p$$

$$\begin{aligned}
 &= (0,29 \times 1 \times \sqrt{40} + 0,3 \times 2,48) 400 \times 480 + 111519,074 \\
 &= 534270,357 N
 \end{aligned}$$

Perhitungan kuat geser yang disumbangkan oleh beton akibat kombinasi momen dan geser:

$$\begin{aligned}
 f_{pe} &= F/A + F \times e/W_b \\
 &= 1164429,73 / 470400 + (1164429,73 \times 297,55) / 34121384,2 \\
 &= 12,63 MPa
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_d &= \text{momen akibat beban sendiri balok} \\
 &= 139138000 Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_d &= M_d/W_b \\
 &= 139138000 / 34121384,2 \\
 &= 4,08 MPa
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{cre} &= (I/y_t) (0,5 \lambda \sqrt{f'_c} + f_{pe} - f_d) \\
 &= (14247418776 / 182,45) (0,5 \times 1 \times \sqrt{40} + 12,63 - 4,08) \\
 &= 914760495 Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_d &= \text{gaya geser pada penampang akibat beban mati tak terfaktor (gaya geser lapangan)} \\
 &= 61976,24 N
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_i &= \text{gaya geser terfaktor pada penampang akibat beban terapan luar yang terjadi serentak dengan } M_{max} \text{ (gaya geser lapangan)} \\
 &= 141673,926 N
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{max} &= \text{momen terfaktor maksimum pada penampang akibat beban dari luar} \\
 &= 396683400 Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ci} &= 0,05\lambda\sqrt{f'_c}b_wd_p + V_d + \frac{V_iM_{cre}}{M_{max}} \\
 &= 0,05 \times 1 \times \sqrt{40} \times 400 \times 495 + 39155,9 + \frac{141673,9 \times 914760495}{396683400} \\
 &= 4493395,104N
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.3.3.1 menyebutkan bahwa nilai  $V_{ci}$  tidak boleh kurang dari:

$$\begin{aligned}
 V_{ci,min} &= 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_wd \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{40} \times 400 \times 537 \\
 &= 206433,486N
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 V_{ci} &\geq V_{ci,min} \\
 4493395,1N &\geq 206433,486N \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Dari nilai  $V_{ci}$  dan  $V_{cw}$  diambil nilai yang terkecil yaitu dari nilai  $V_{ci}$ . Maka:

$$V_c = 4493395,1N$$

Kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan geser adalah sebesar

$$\begin{aligned}
 V_s &= (V_u - \phi V_c) / \phi \\
 &= ((V_d + V_i + V_p) - \phi V_c) / \phi \\
 &= ((78232,3 + 178834,3 + 257066,6) - 0,75 \times 4493395) / 0,75 \\
 &= -29169,454N
 \end{aligned}$$

Maka tidak perlu tulangan geser, sehingga dipasang tulangan geser minimum.

Direncanakan:

$$\begin{aligned}
 D &= 13 \text{ mm} \\
 s &= 200 \text{ mm} \\
 n &= 2 \text{ kaki}
 \end{aligned}$$

$$A_{v,min} = 0,35 \times b_w \times s / f_y$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,35 \times 400 \times 200/400 \\
 &= 70\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.2 menuliskan kombinasi antara geser dan torsi seperti yang dituliskan pada persamaan berikut

$$\begin{aligned}
 A_v + 2A_t &= 70\text{mm}^2 + 2 \times 88,4\text{mm}^2 \\
 &= 246,79\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas minimum sengkang tertutup transversal tidak boleh kurang dari

$$\begin{aligned}
 A_v + 2A_t &\geq 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b_w s}{f_{yt}} \\
 246,79\text{mm}^2 &\geq 0,062 \sqrt{40} \frac{400 \times 200}{400} \\
 246,79\text{mm}^2 &\geq 78,42\text{mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_v + 2A_t &\geq 0,035 \frac{b_w s}{f_{yt}} \\
 246,79\text{mm}^2 &\geq 0,035 \frac{400 \times 200}{400} \\
 246,79\text{mm}^2 &\geq 70\text{mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v,pakai} &= 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \\
 &= 1/4 \times \pi \times 13^2 \times 2 \\
 &= 265,46\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_{v,pertu} &\leq A_{v,pakai} \\
 246,79\text{mm}^2 &\leq 265,46\text{mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah lapangan dipasang tulangan geser D13-200 dari jarak 1200mm diukur dari batas sendi plastis ke tengah bentang.

#### 4.5.5.17 Pengangkuran Ujung

Kegagalan bisa disebabkan oleh hancurnya bantalan beton pada daerah tepat di belakang angkur tendon akibat tekanan yang



sangat besar. Hal ini terjadi pada beton pratekan pasca tarik. Kegagalan ini diperhitungkan pada kondisi ekstrim saat transfer, yaitu saat gaya pratekan maksimum dan kekuatan beton minimum.

Diketahui:

$$F_o = 1600000N$$

SNI 2847-2013 pasal 9.2.7 menjelaskan mengenai gaya jeking baja prategang untuk desain daerah angkur pasca tarik, faktor beban sebesar 1,2 harus ditetapkan pada gaya jeking baja prategang maksimum.

$$\begin{aligned} P_{pu} &= 1,2 \times F_o \\ &= 1,2 \times 1600000N \\ &= 1920000N \end{aligned}$$

$$T_{pencar} = 0,25 \times P_{pu} \times (1 - a/h)$$

$$d_{pencar} = 0,5 \times (h - 2e)$$

dimana:

$P_{pu}$  = gaya prategang terfaktor pada alat angkur

$a$  = tinggi angkur atau kelompok angkur yang berdekatan pada arah yang ditinjau  
= 265mm (VSL stressing anchorage tendon unit 5-15)

$e$  = eksentrisitas pada tempat pengankuran  
= 0 mm (tempat pengankuran dipasang tepat pada sumbu netral)

$h$  = tinggi balok = 600 mm

$$\begin{aligned} T_{pencar} &= 0,25 \times P_{pu} \times (1 - a/h) \\ &= 0,25 \times 1920000N \times (1 - 265/600) \\ &= 268000N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{pencar} &= 0,5 \times (h - 2e) \\ &= 0,5 \times (600 - 2 \times 0) \\ &= 300mm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{vp} &= T_{pencar} / f_y \\
 &= 36800N / 400 \\
 &= 670mm^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan:

$$D = 13 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v,pakai} &= 1/4 \times \pi \times d^2 \\
 &= 1/4 \times \pi \times 13^2 \\
 &= 132,73mm^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= A_{vp} / A_{v,pakai} \\
 &= 770mm^2 / 132,73mm^2 \\
 &= 5,8 \approx 6 \text{ kaki}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= d_{pencar} / n \\
 &= 300mm / 6 \\
 &= 50mm
 \end{aligned}$$

Maka, pada daerah pengangkuran ujung dipasang tulangan 6D13 dengan jarak 50mm

#### 4.5.5.18 Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran terdapat beberapa macam yaitu panjang penyaluran dalam kondisi tarik, panjang penyaluran dalam kondisi tekan, dan penyaluran kait standar dalam kondisi tarik.

##### d. Panjang Penyaluran Kondisi Tarik

SNI 2847-2013 pasal 12.2.2 menjelaskan panjang penyaluran,  $l_d$ , untuk batang tulangan atau kawat ulir diameter 22 atau yang lebih besar dapat dituliskan sebagai berikut:

$$l_d = \left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,1 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$\begin{aligned}
 &= \left( \frac{400 \times 1 \times 1}{1,1 \times 1 \times \sqrt{40}} \right) \times 22mm \\
 &= 818,47 \approx 850mm
 \end{aligned}$$

- e. Panjang Penyaluran Kondisi Tekan  
 SNI 2847-2013 pasal 12.3.2 menjelaskan panjang penyaluran dalam kondisi tekan,  $l_{dc}$ , dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 l_{dc} &= \left( \frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b \\
 &= \left( \frac{0,24 \times 400}{1 \times \sqrt{40}} \right) \times 22mm \\
 &= 333,94mm
 \end{aligned}$$

Nilai  $l_{dc}$  tidak boleh kurang dari:

$$\begin{aligned}
 l_{dc} &= (0,043 f_y) d_b \\
 &= (0,043 \times 400) \times 22mm \\
 &= 378,4mm
 \end{aligned}$$

Nilai  $l_{dc}$  diambil yang terbesar, yaitu:

$$l_{dc} = 378,4 \approx 350mm$$

- f. Penyaluran Kait Standar Kondisi Tarik  
 SNI 2847-2013 pasal 12.5.1 menjelaskan panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri dengan kait standar,  $l_{dh}$ , dapat dituliskan sebagai berikut:

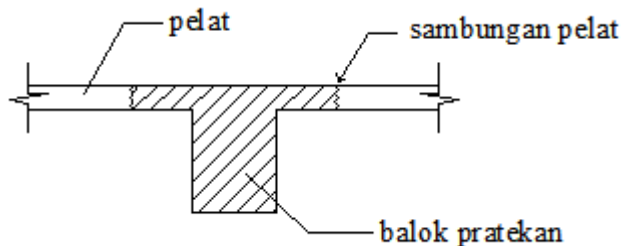
$$\begin{aligned}
 l_{dh} &= \left( \frac{0,24 \psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b \\
 &= \left( \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1 \times \sqrt{40}} \right) \times 22mm \\
 &= 333,94 \approx 350mm
 \end{aligned}$$

perpanjangan kait standar dipakai  $12d_b$ , yaitu

$$\begin{aligned} 12_{db} &= 12 \times 22\text{mm} \\ &= 264 \approx 300\text{mm} \end{aligned}$$

#### 4.5.5.19 Penulangan Geser Untuk Sambungan Pelat

Balok pratekan yang dicor dengan penampang berbentuk T, tanpa dicor langsung dengan pelat disebelahnya, mengakibatkan sambungan antara balok pratekan dengan pelat tidak monolit. Hal tersebut sangat rawan terhadap retak geser. Oleh sebab itu pada sambungan tersebut harus dipasang tulangan geser.



Gambar 4.58 Sambungan Antara Balok Pratekan Dengan Pelat

Dari gambar tersebut diperlihatkan bahwa daerah yang diarsir dicor terlebih dahulu, setelah beton mengering, dilanjutkan dengan mengecor pelat yang ada di sebelahnyanya. Dari sambungan tersebut harus direncanakan tulangan gesernya. Beban terbesar pada pelat di sebelah kiri adalah pelat tipe 1 (P1), sedangkan beban terbesar pada pelat di sebelah kanan adalah pelat tipe 4 (P4).

#### Perencanaan Tulangan Geser Pelat Tipe 1 (P1)

Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Beban area } q &= 1228,4\text{kg/m}^2 \\ \text{Lebar pelat, } b &= 1\text{ meter (asumsi per meter persegi)} \\ \text{Beban } q \text{ per meter} &= 1228,4\text{kg/m}^2 \times 1\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 1228,4kg/m \\ \text{Panjang pelat, } L &= 5,25m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u' &= 1/2 \times q \times L \\ &= 1/2 \times 1228,4kg/m \times 5,25m \\ &= 3224,55kg \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{eff} &= 2320mm \\ 1/2b_{eff} &= 1/2 \times 2320mm \\ &= 1160mm \end{aligned}$$

Gaya geser pada sambungan pelat:

$$\begin{aligned} V_u &= V_u' - q \times L \\ &= 3224,55kg - 1228,4kg/m \times 1,16m \\ &= 1799,606kg \\ &= 17996,06N \end{aligned}$$

Perhitungan tulagann geser yang disumbangkan oleh beton:

$$\begin{aligned} f_c' &= 35MPa \\ f_y &= 240MPa \\ b_w &= 1000mm \\ d &= 94mm \\ V_c &= 0,17\lambda\sqrt{f_c'}b_wd \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{40} \times 1000 \times 94 \\ &= 101066N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 101066N \\ &= 75799,796N \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} \phi V_c &\geq V_u \\ 75799,796N &\geq 17996,06N \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka tidak diperlukan tulangan geser, sehingga dipasang tulangan geer minimum

Direncanakan:

$$\emptyset = 10 \text{ mm}$$

$$s = 100 \text{ mm}$$

$$n = 2 \text{ kaki}$$

$$\begin{aligned} A_{v,min} &= 0,35 \times b_w \times s / f_y \\ &= 0,35 \times 1000 \times 100 / 240 \\ &= 145,83 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v,pakai} &= 1/4 \times \pi \times \emptyset^2 \times n \\ &= 1/4 \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{v,perlu} &\leq A_{v,pakai} \\ 145,83 \text{ mm}^2 &\leq 157,08 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 2 $\emptyset$ 10-100 pada sambungan antara balok pratekan dengan pelat tipe 1.

#### Perencanaan Tulangan Geser Pelat Tipe 4 (P4)

Diketahui:

$$\text{Beban area } q = 1228,4 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Lebar pelat, } b = 1 \text{ meter (asumsi per meter persegi)}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban } q \text{ per meter} &= 1228,4 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m} \\ &= 1228,4 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang pelat, } L = 3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} V_u' &= 1/2 \times q \times L \\ &= 1/2 \times 1228,4 \text{ kg/m} \times 3 \text{ m} \\ &= 1842,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$b_{eff} = 2320 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} 1/2 b_{eff} &= 1/2 \times 2320 \text{ mm} \\ &= 1160 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gaya geser pada sambungan pelat:

$$\begin{aligned}
 V_u &= V'_u - q \times L \\
 &= 1842,6kg - 1228,4kg/m \times 1,16m \\
 &= 417,66kg \\
 &= 4176,6N
 \end{aligned}$$

Perhitungan tulagann geser yang disumbangkan oleh beton:

$$\begin{aligned}
 f'_c &= 35MPa \\
 f_y &= 240MPa \\
 b_w &= 1000mm \\
 d &= 94mm \\
 V_c &= 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_wd \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{40} \times 1000 \times 94 \\
 &= 101066N \\
 \emptyset V_c &= 0,75 \times 101066N \\
 &= 75799,796N
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 \emptyset V_c &\geq V_u \\
 75799,796N &\geq 4176,6N \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Maka tidak diperlukan tulangan geser, sehingga dipasang tulangan geer minimum

Direncanakan:

$$\begin{aligned}
 \emptyset &= 10 \text{ mm} \\
 s &= 100 \text{ mm} \\
 n &= 2 \text{ kaki} \\
 A_{v,min} &= 0,35 \times b_w \times s/f_y \\
 &= 0,35 \times 1000 \times 100/240 \\
 &= 145,83mm^2 \\
 A_{v,pakai} &= 1/4 \times \pi \times \emptyset^2 \times n \\
 &= 1/4 \times \pi \times 10^2 \times 2
 \end{aligned}$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{v,pertu} \leq A_{v,pakai}$$

$$145,83 \text{ mm}^2 \leq 157,08 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Maka dipasang tulangan 2Ø10-100 pada sambungan antara balok pratekan dengan pelat tipe 4.

Tabel 4.44 Rekapitulasi Penulangan Balok Pratekan

Tipe	L (m)	b/h	Tulangan Lentur				Tulangan Geser		Torsi
			Tumpuan		Lapangan		tumpuan	lapangan	
			atas	bawah	atas	bawah			
BP1	11,55	40/60	9D22	5D19	4D22	8D22	D13-120	D12-200	4D19
BP2	11,55	40/60	8D22	4D22	3D22	6D22	D13-120	D12-200	2D22

## 4.6 Perencanaan Pondasi

Pondasi merupakan struktur utama yang merupakan struktur bagian bawah yang menerima semua beban dari struktur atas. Dalam merencanakan pondasi, yang perlu diperhitungkan adalah daya dukung ijin tang, perencanaan kebutuhan tiang (konfigurasi ting), dan penulangan pile cap.

### 4.6.1 Daya Dukung Ijin Tiang

Daya dukung tiang pada tanah pondasi umumnya diperoleh dari jumlah daya dukung terpusat tiang dan tahanan geser pada dinding tiang. Besarnya daya dukung yang diizinkan  $R_a$  diperoleh dari persamaan sebagai berikut (Nakazawa, 2000) :

$$R_a = \frac{1}{n} R_u = \frac{1}{n} (R_p + R_f)$$

Dimana:

$R_a$  = daya dukung ijin tiang (ton)

$R_u$  = daya dukung batas pada tanah pondasi (ton)

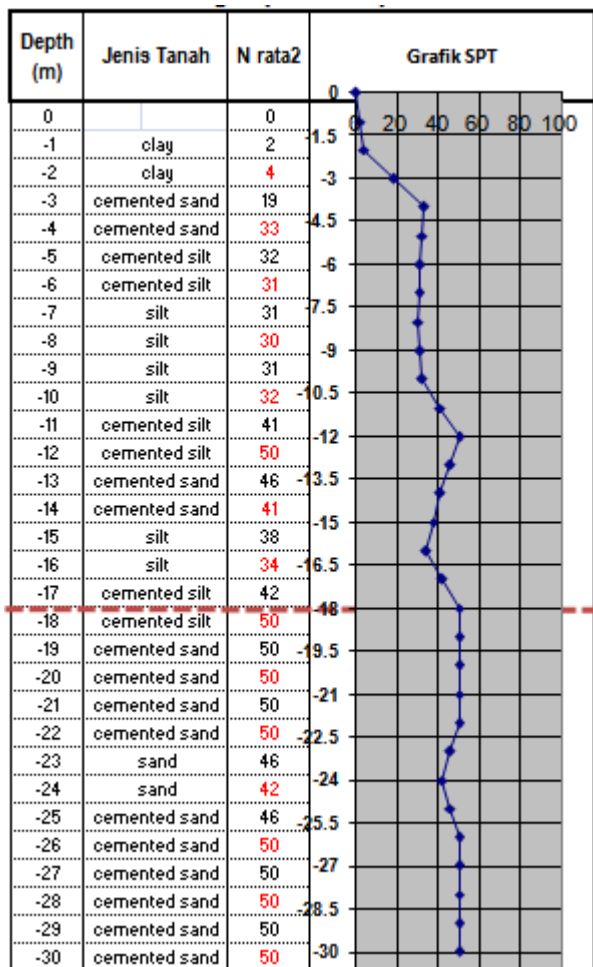
$R_p$  = daya dukung terpusat tiang (ton)

$R_f$  = gaya geser dinding tiang (ton)

$n$  = faktor keamanan



Data tanah yang diambil adalah data tanah dari lokasi gedung Apartemen Lagoon Resort Bekasi. Berikut ini adalah data tanah yang diambil berupa data SPT.



Gambar 4.59 Data Tanah Apartemen Lagoon Resort Bekasi

Dalam perencanaan gedung Apartemen Lagoon Resort Bekasi digunakan pondasi tiang pancang dari brosur PT. Beton Prima Indonesia dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Tipe Tiang Pancang = Kelas C
- Diameter luar = 600 mm
- Tebal dinding = 100 mm
- Allowable Axial Load = 215 ton
- Panjang tiang = 6-17 meter

Setelah mendapatkan spesifikasi tiang pancang, kemudian dapat dilanjutkan menghitung daya dukung ijin tiang.

#### 4.6.1.1 Gaya Geser Dinding Tiang, $R_f$

Perhitungan gaya geser dinding tiang dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_f = U \times \sum l_i f_i$$

Dimana:

$R_f$  = gaya geser dinding tiang (ton)

$U$  = panjang keliling tiang (m)

$l_i$  = tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang

$f_i$  = besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (ton/m<sup>2</sup>)

Perhitungan keliling tiang:

$$\begin{aligned} U &= \pi \times D \\ &= \pi \times 0,60\text{m} \\ &= 1,885\text{m} \end{aligned}$$

Nilai  $f_i$  dapat dihitung dengan memperhitungkan koefisien-koefisien berdasarkan jenis tanah yang ada dengan melihat tabel berikut

Tabel 4.45 Intensitas Gaya Geser Dinding Tiang,  $f$ 

Jenis Tanah Pondasi	Jenis Tiang	
	Tiang Pracetak	Tiang yang Dikor Ditempat
Tanah Berpasir	$\frac{N}{5} (\leq 10)$	$\frac{N}{2} (\leq 12)$
Tanah Kohesif	$c \text{ atau } N (\leq 10)$	$\frac{c}{2} \text{ atau } \frac{N}{2} (\leq 12)$

Untuk menghitung nilai  $U \times \sum l_i f_i$  berdasarkan data tanah dari gedung Apartemen Lagoon Resort Bekasi dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.46 Nilai  $U \times \sum l_i f_i$  Sampai Kedalaman 30 meter

Depth (m)	Jenis Tanah	N rata2	Kode Tanah	$f_i$	$f_i \cdot l_i \cdot U$	$U \sum l_i f_i$
				(t/m2)	ton	ton
0		0		0	0.00	0.00
-1	clay	2	c	2	3.77	3.77
-2	clay	4	c	4	7.54	11.31
-3	cemented sand	19		4	6.97	18.28
-4	cemented sand	33		7	12.44	30.72
-5	cemented silt	32		6	12.06	42.79
-6	cemented silt	31		6	11.69	54.48
-7	silt	31	c	12	22.62	77.09
-8	silt	30	c	12	22.62	99.71
-9	silt	31	c	12.0	22.62	122.33
-10	silt	32	c	12.0	22.62	144.95
-11	cemented silt	41	c	12.0	22.62	167.57

-12	cemented silt	50	c	12.0	22.62	190.19
-13	cemented sand	46		9.1	17.15	207.35
-14	cemented sand	41		8.2	15.46	222.80
-15	silt	38	c	12	22.62	245.42
-16	silt	34	c	12	22.62	268.04
<b>-17</b>	<b>cemented silt</b>	<b>42</b>	<b>c</b>	<b>12</b>	<b>22.62</b>	<b>290.66</b>
-18	cemented silt	50	c	12	22.62	313.28
-19	cemented sand	50		10	18.85	332.13
-20	cemented sand	50		10	18.85	350.98
-21	cemented sand	50		10	18.85	369.83
-22	cemented sand	50		10	18.85	388.68
-23	sand	46		9.2	17.34	406.02
-24	sand	42		8.4	15.83	421.85
-25	cemented sand	46		9.2	17.34	439.19
-26	cemented sand	50		10.0	18.85	458.04
-27	cemented sand	50		10.0	18.85	476.89
-28	cemented sand	50		10.0	18.85	495.74
-29	cemented sand	50		10.0	18.85	514.59
-30	cemented sand	50		10.0	18.85	533.44

Keterangan:

$c$  = kohesi tanah pondasi

Untuk kolom kode tanah yang dikosongi artinya jenis tanah adalah selain tanah lempung (kohesi).

Sehingga, untuk menghitung gaya geser dinding tiang,  $R_f$ , dapat dilihat pada tabel di atas dengan kedalaman tiang pancang 17 meter adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R_f &= U \times \sum l_i f_i \\ &= 290,66 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### 4.6.1.2 Daya Dukung Ujung Tiang, $R_p$

Perhitungan daya dukung ujung tiang dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_p = q_d \times A$$

Dimana:

$R_p$  = daya dukung ujung tiang (ton)

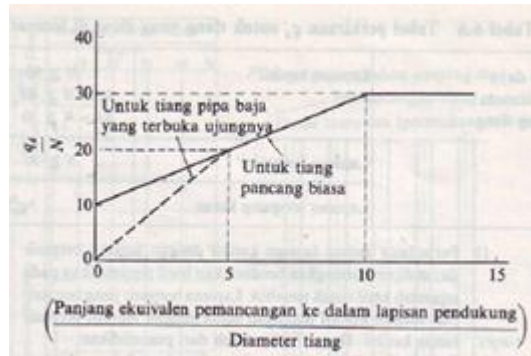
$q_d$  = daya dukung terpusat tiang (ton)

$A$  = luas ujung tiang ( $m^2$ )

Perhitungan luas tiang:

$$\begin{aligned} A &= 1/4 \pi \times D_{\text{luar}}^2 - 1/4 \pi \times D_{\text{dalam}}^2 \\ &= 1/4 \pi \times 0,60^2 - 1/4 \pi \times 0,40^2 \\ &= 0,283 m^2 \end{aligned}$$

Perkiraan satuan (unit) daya dukung terpusat,  $q_d$  diperoleh dari hubungan antara  $L/D$  dan  $q_d/N$  seperti pada gambar berikut



Gambar 4.60 Diagram Perhitungan dari Intensitas Daya Dukung Ultimate Tanah Pondasi Pada Ujung Tiang (Nakazawa, 2000)

Dimana:

$$\begin{aligned}
 L &= \text{panjang ekivalen penetrasi pada lapisan pendukung (m)} \\
 &= 4 \times D \\
 &= 4 \times 0,60\text{m} \\
 &= 2,4\text{m}
 \end{aligned}$$

$$D = \text{diameter tiang} = 0,60\text{m}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{N} &= \text{harga rata-rata } N \text{ pada ujung tiang} \\
 &= (N_1 + \bar{N}_2)/2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \text{harga } N \text{ pada ujung tiang (kedalaman 17 meter)} \\
 &= 42
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{N}_2 &= \text{harga rata-rata } N \text{ pada jarak } 4D \text{ dari ujung tiang} \\
 &\quad (4 \times 0,60\text{m} = 2,4\text{m} \approx 3\text{m}) \\
 &= (38 + 34 + 42 + 50 + 50 + 50)/6 \\
 &= 44
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{N} &= \text{harga rata-rata } N \text{ pada ujung tiang} \\
 &= (N_1 + \bar{N}_2)/2 \\
 &= (42 + 44)/2 \\
 &= 43
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L/D &= 2,4\text{m}/0,60\text{m} \\
 &= 4
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai  $L/D$  lalu diplot ke grafik seperti pada gambar untuk mendapatkan nilai  $q_d/N$

$$\begin{aligned} q_d/\bar{N} &= 18 \\ \bar{N} &= 47 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_d &= 18 \times 47 \\ &= 773,25 \text{ ton} \end{aligned}$$

Sehingga daya dukung ujung tiang adalah:

$$\begin{aligned} R_p &= q_d \times A \\ &= 773,25 \times 0,283 \\ &= 218,63 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### 4.6.1.3 Daya Dukung Ultimate Tiang, $R_u$

Daya dukung ultimate tiang,  $R_u$ , merupakan penjumlahan dari gaya geser dinding tiang,  $R_f$  dengan daya dukung ujung tiang,  $R_p$ .

$$\begin{aligned} R_u &= R_p + R_f \\ &= 218,63 \text{ ton} + 290,66 \text{ ton} \\ &= 509,29 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### 4.6.1.4 Daya Dukung Ijin Tiang, $R_a$

Daya dukung ultimate tiang,  $R_u$ , merupakan daya dukung ultimate tiang,  $R_u$  dibagi dengan faktor keamanan,  $n$ . Faktor keamanan untuk beban tetap adalah 3, sedangkan faktor keamanan untuk beban sementara (gempa) adalah 2.

Daya dukung ijin tiang yang terkena beban tetap:

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{1}{n} R_u \\ &= \frac{1}{3} 509,29 \text{ ton} \\ &= 169,76 \approx 170 \text{ ton/tiang} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin tiang yang terkena beban sementara:

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{1}{n} R_u \\
 &= \frac{1}{2} 509,29 \text{ ton} \\
 &= 254,65 \approx 255 \text{ ton/tiang}
 \end{aligned}$$

#### 4.6.2 Penentuan Jumlah Tiang dan Konfigurasi Tiang

Daya dukung ijin tiang yang telah dihitung akan dibandingkan dengan beban satu tiang saja. Sedangkan Tiang-tiang yang disatukan dalam satu pile cap, maka besarnya beban vertikal ekuivalen ( $P_v$ ) akan berubah dan dapat dirumuskan seperti berikut ini.

$$P_v = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_x \times y_{max}}{\sum y_i^2} + \frac{M_y \times x_{max}}{\sum x_i^2}$$

Dimana:

$P_v$  = total beban yang bekerja pada tiang yang ditinjau pada satu pile cap

$\sum V$  = total beban vertikal yang terjadi pada satu pile cap

$M_x$  = momen arah x yang terjadi pada satu pile cap

$M_y$  = momen arah y yang terjadi pada satu pile cap

$x_{max}$  = jarak arah x maksimum dari tiang yang ditinjau ke titik berat pile cap

$\bar{y}_{max}$  = jarak arah y maksimum dari tiang yang ditinjau ke titik berat pile cap

$\sum x_i^2$  = jumlah kuadrat jarak tiang terhadap titik berat pile cap dalam arah x

$\sum y_i^2$  = jumlah kuadrat jarak tiang terhadap titik berat pile cap dalam arah y

Untuk menghitung jumlah tiang dan konfigurasi tiang, pada tugas akhir ini akan ditulis satu contoh perhitungan saja yaitu pada AS 3-WX. Gaya-gaya yang terjadi pada pile cap diambil dari



program bantu SAP 2000 kombinasi tegangan ijin yaitu seperti berikut ini

Tabel 4.47 Gaya Yang Terjadi Pada Pile Cap AS 3-WX (Beban Tetap)

Kombinasi	V (kg)	My (kgm)	Mx (kgm)
1D+1L	679738.34	-87.82	-1301.8
1D	603203.46	-72.51	-1064.91
MAX	679738.34	-72.51	-1301.8
MIN	603203.46	-87.82	-1064.91

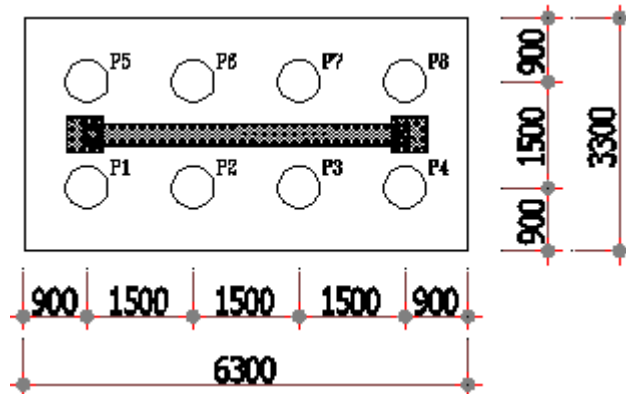
Tabel 4. 48 Gaya Yang Terjadi Pada Pile Cap AS 3-WX (Beban Sementara)

Kombinasi	V (kg)	My (kgm)	Mx (kgm)
1D+0.7EX+0.7EY	1130166.36	7515.33	9894.67
1D+0.7EX+0.7EY	76240.56	-7660.35	-12024.5
1D+0.75L+0.525EX+0.525EY	1055826.8	5606.88	6977.1
1D+0.75L+0.525EX+0.525EY	265382.45	-5774.87	-9462.27
MAX	861971.64	7515.33	9894.67
MIN	222011.45	-7660.35	-12024.5

Untuk menentukan jumlah tiang, pendekatan dilakukan dengan membagi gaya maksimum yang terjadi dari luar, dibagi dengan daya dukung ijin tiang.

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{V_{max}}{R_a} \\
 &= \frac{1130166kg}{170000kg} \\
 &= 4,43 \approx 8 \text{ tiang}
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan jumlah tiang, selanjutnya adalah membuat konfigurasi tiang yang dapat digambarkan seperti berikut ini:



Gambar 4.61 Konfigurasi Tiang Pada AS 3-WX

Untuk menghitung beban vertikal ekivalen, berat poer diperhitungkan sebagai berikut:

- Lebar poer,  $L$  = 3300 mm
- Panjang poer,  $P$  = 6300 mm
- Tebal poer,  $t$  = 1000 mm
- Berat poer =  $P \times L \times t \times BJ$   
 $= 6,3 \times 3,3 \times 1 \times 2400$   
 $= 49896 \text{ kg}$

Setelah membuat konfigurasi tiang, selanjutnya adalah menghitung beban vertikal ekivalen,  $P_v$  yang dihitung seperti pada tabel berikut:

Tabel 4.49 Perhitungan Beban Vertikal Ekivalen (Beban Tetap)

tiang	$\Sigma V$	$x_{max}$	$y_{max}$	$x^2$	$y^2$	$\Sigma My$	$\Sigma Mx$	$P_v$
	(kg)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kgm)	(kgm)	(kg)
p1	729634	-2.25	-0.9	5.06	0.8	-72.5	-1064.9	91359.45

p2	729634	-0.75	-0.9	0.56	0.8	-72.5	-1064.9	91354.61
p3	729634	0.75	-0.9	0.56	0.8	-72.5	-1064.9	91349.78
p4	729634	2.25	-0.9	5.06	0.8	-72.5	-1064.9	91344.95
p5	729634	-2.25	0.9	5.06	0.8	-72.5	-1064.9	91063.64
p6	729634	-0.75	0.9	0.56	0.8	-72.5	-1064.9	91058.81
p7	729634	0.75	0.9	0.56	0.8	-72.5	-1064.9	91053.97
p8	729634	2.25	0.9	5.06	0.8	-72.5	-1064.9	91049.14
sigma				22.5	6.5		max =	91359

Dari perhitungan beban ekivalen akibat beban tetap, didapatkan beban terbesar yaitu

$$P_v = 91359 \text{ kg}$$

Beban vertikal ekivalen harus lebih kecil dari daya dukung ijin tiang dimana daya dukung ijin harus dikalikan efisiensi yang dihitung berdasarkan rumus dari Converse-Labarre seperti berikut ini:

$$E = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \times m \times n}$$

Dimana,

$m$  = jumlah tiang dalam satu kolom

$n$  = jumlah tiang dalam satu baris

$D$  = diameter tiang = 60cm

$k$  = jarak antar tiang = 1,5m

$$\begin{aligned} \theta &= \tan^{-1}(D/k) \\ &= \tan^{-1}(0,6/1,5) \\ &= 21,8^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \times m \times n} \\ &= 1 - 21,8 \frac{(2-1)4 + (4-1)2}{90 \times 4 \times 2} \end{aligned}$$

$$= 0,697$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} P_v &\leq R_a \times E \\ 91359kg &\leq 170000kg \times 0,697 \\ 91359kg &\leq 118524,45kg \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Tabel 4. 50 Perhitungan Beban Vertikal Ekvivalen (Beban Sementara)

tiang	$\Sigma V$	$x_{max}$	$y_{max}$	$x^2$	$y^2$	$\Sigma My$	$\Sigma Mx$	$P_v$
	(kg)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kgm)	(kgm)	(kg)
p1	1180062	-2.25	-0.9	5.06	0.81	7515	9895	145382
p2	1180062	-0.75	-0.9	0.56	0.81	7515	9895	145883
p3	1180062	0.75	-0.9	0.56	0.81	7515	9895	146384
p4	1180062	2.25	-0.9	5.06	0.81	7515	9895	146885
p5	1180062	-2.25	0.9	5.06	0.81	7515	9895	148131
p6	1180062	-0.75	0.9	0.56	0.81	7515	9895	148632
p7	1180062	0.75	0.9	0.56	0.81	7515	9895	149133
p8	1180062	2.25	0.9	5.06	0.81	7515	9895	149634
sigma				22.5	6.48		max =	149634

Dari perhitungan beban ekivalen akibat beban sementara, didapatkan beban terbesar yaitu

$$P_v = 149634kg$$

Beban vertikal ekivalen harus lebih kecil dari daya dukung ijin tiang untuk beban sementara

Kontrol:

$$\begin{aligned} P_v &\leq R_a \times E \\ 149634kg &\leq 255000kg \times 0,697 \\ 149634kg &\leq 177786,7kg \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

### 4.6.3 Perencanaan Pile Cap

Pile Cap merupakan struktur bawah yang berfungsi menyatukan pondasi yang digunakan untuk menerima beban dari atas berupa beban kolom maupun beban dinding geser.

#### 4.6.3.1 Data Perencanaan

Pile cap yang dihitung pada tugas akhir ini hanya satu contoh saja yaitu pada pile cap AS 3-WX yang mempunyai data-data perencanaan sebagai berikut:

- Mutu beton,  $f_c'$  = 35 MPa
- Mutu baja lentur,  $f_y$  = 400 MPa
- Mutu baja geser,  $f_y$  = 240 MPa
- Diameter tiang,  $D$  = 0,45 mm
- Selimut beton,  $c$  = 75 mm
- Lebar pile cap = 6300 mm
- Panjang pile cap = 3300 mm
- Tebal pile cap = 1000 mm
- Tebal dinding geser = 300 mm
- Panjang dinding geser = 5250 mm
- $\beta = 0,85 - 0,05/7(f_c' - 28)$  = 0,8

menurut SNI 2847-2013 pasal 12.3.2 panjang lewatan dari dinding geser ke dalam pile cap harus dipilih yang terbesar dari berikut ini:

$$\begin{aligned}
 l_d &= (0,24 \times f_y / \lambda \times \sqrt{f_c'}) / d_b \\
 &= (0,24 \times 400 / 1 \times \sqrt{40}) / 29 \\
 &= 470,58 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 l_d &= (0,043 \times f_y) / d_b \\
 &= (0,043 \times 400) / 29 \\
 &= 498,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dari kedua persamaan di atas, yang terbesar adalah

$$l_d = 498,8mm \approx 500mm$$

Panjang lewatan harus lebih kecil dari tebal pile cap supaya tulangan dari dinding geser bisa masuk ke dalam pile cap.

Kontrol:

$$l_d \leq (t_{pilecap} - c - d_b - d_{susut})$$

$$500mm \leq (1000 - 75 - 29 - 29)$$

$$500mm \leq 867mm \text{ (memenuhi)}$$

#### 4.6.3.2 Geser Pons Pada Pile Cap

Perencanaan pile cap harus memenuhi kekuatan geser nominal yang harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1 kuat geser yang disumbangkan oleh beton harus diambil yang terkecil dari berikut ini.

Geser pons akibat dinding geser:

- 1 Kuat geser yang disumbangkan beton syarat SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1.(a):

$$V_c = 0,17(1 + 2/\beta)\lambda\sqrt{f'_c}b_o d$$

Dimana:

$$d = \text{tebal efektif pile cap}$$

$$= t - c - 1/2 D$$

$$= 1000 - 75 - 1/2 \times 29$$

$$= 910mm$$

$$b_o = \text{keliling dari penampang kritis pada pelat poer}$$

$$= 2 \times (b + h) + 4 \times d$$

$$= 2 \times (0,3 + 5,25) + 4 \times 0,91$$

$$= 14,742m$$

$$\beta = \text{rasio sisi panjang terhadap sisi pendek dinding geser}$$

$$= h/b$$

$$= 5250mm/300mm$$

$$= 17,5$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17(1 + 2/\beta)\lambda\sqrt{f'_c}b_o d \\
 &= 0,17 \times (1 + 2/17,5) \times 1 \times \sqrt{40} \times 14742 \times 910 \\
 &= 485983809,8N
 \end{aligned}$$

- 2 Kuat geser yang disumbangkan beton syarat SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1.(b):

$$V_c = 0,083 \left( \frac{\alpha_s x d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o d$$

Dimana:

$$\alpha_s = 30 \text{ (untuk kolom tepi atau dinding geser tepi)}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,083 \left( \frac{\alpha_s x d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o d \\
 &= 0,083 \left( \frac{30 \times 910}{14742} + 2 \right) \times 1 \times \sqrt{40} \times 14742 \times 910 \\
 &= 25394095,84N
 \end{aligned}$$

- 3 Kuat geser yang disumbangkan beton syarat SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1.(c):

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,33\lambda\sqrt{f'_c}b_o d \\
 &= 0,33 \times 1 \times \sqrt{40} \times 14742 \times 910 \\
 &= 26205009,35N
 \end{aligned}$$

Dari ketiga persyaratan di atas, diambil nilai  $V_c$  yang terkecil, yaitu:

$$V_c = 25394095,84N$$

Setelah mendapatkan kuat geser yang disumbangkan oleh beton, kemudian dikontrol terhadap gaya aksial akibat beban dari luar. Beban dari luar diambil dari SAP 2000 yaitu sebesar:

$$P_u = 6797383N$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 P_u &\leq \phi V_c \\
 6797383N &\leq 0,75 \times 25394095,84N \\
 6797383N &\leq 19045571,88N \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Geser pons akibat pondasi tiang:

- 1 Kuat geser yang disumbangkan beton syarat SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1.(a):

$$V_c = 0,17(1 + 2/\beta)\lambda\sqrt{f'_c}b_o d$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 d &= \text{tebal efektif pile cap} \\
 &= t - c - 1/2 D \\
 &= 1000 - 75 - 1/2 \times 29 \\
 &= 910mm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_o &= \text{keliling dari penampang kritis pada pelat poer} \\
 &= \pi \times (D_{tiang} + d) \\
 &= \pi \times (0,60 + 0,91) \\
 &= 4,75m
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta &= \text{rasio sisi panjang terhadap sisi pendek dinding geser} \\
 &= h/b \\
 &= 5250mm/300mm \\
 &= 17,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17(1 + 2/\beta)\lambda\sqrt{f'_c}b_o d \\
 &= 0,17 \times (1 + 2/17,5) \times 1 \times \sqrt{40} \times 4,75 \times 91 \\
 &= 156435745,7N
 \end{aligned}$$

- 2 Kuat geser yang disumbangkan beton syarat SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1.(b):

$$V_c = 0,083 \left( \frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o d$$

Dimana:



$$\alpha_s = 30 \text{ (untuk kolom tepi atau dinding geser tepi)}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,083 \left( \frac{\alpha_s x d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o d \\ &= 0,083 \left( \frac{30 x 910}{4750} + 2 \right) x 1 \sqrt{40} x 4750 x 910 \\ &= 16455373,84 N \end{aligned}$$

- 3 Kuat geser yang disumbangkan beton syarat SNI 2847-2013 pasal 11.11.2.1.(c):

$$\begin{aligned} V_c &= 0,33 \lambda \sqrt{f'_c} b_o d \\ &= 0,33 x 1 \sqrt{40} x 4750 x 910 \\ &= 8435260,798 N \end{aligned}$$

Dari ketiga persyaratan di atas, diambil nilai  $V_c$  yang terkecil, yaitu:

$$V_c = 8435260,798 N$$

Setelah mendapatkan kuat geser yang disumbangkan oleh beton, kemudian dikontrol terhadap beban ekibalen terbesar,  $P_v$  yaitu sebesar:

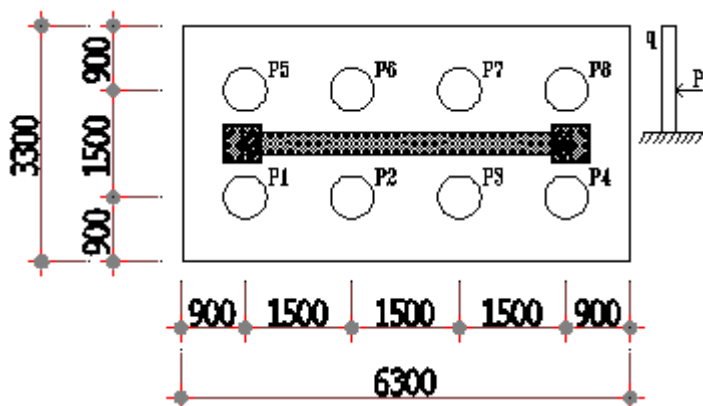
$$P_v = 1088040 N$$

Kontrol:

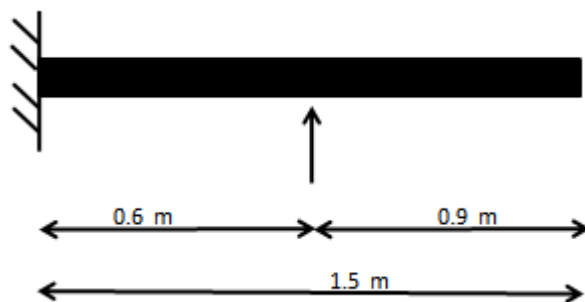
$$\begin{aligned} P_u &\leq \phi V_c \\ 1496340 N &\leq 0,75 x 8413001,33 N \\ 1496340 N &\leq 6326445,599 N \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

#### 4.6.3.3 Penulangan Lentur Pile Cap

penulangan lentur pile cap digunakan untuk menahan momen yang terjadi akibat reaksi dari dinding geser dan tiang pancang. Berikut ini adalah perhitungan momen pada pile cap.



Gambar 4.62 Mekanika Pile Cap Tampak Atas



Gambar 4.63 Mekanika Teknik Pile Cap

$$\begin{aligned}
 q &= b \times h \times BJ \\
 &= 6,3 \times 1 \times 2400 \\
 &= 15120 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= q \times \text{jarak tepi dinding geser ke tepi poer} \\
 &= 6,3 \times 1,5 \\
 &= 22680 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$P_{max} = P \times \text{jumlah tiang dalam 1 baris}$$

$$= 149633,6 \times 4$$

$$= 598534,4 \text{ kg}$$

$$M_u = P \times L - \frac{1}{2} \times Q \times L$$

$$= 598534,4 \times 0,6 - \frac{1}{2} \times 22680 \times 1,5$$

$$= 342110,6105 \text{ kgm}$$

$$= 3421106105 \text{ Nmm}$$

Pada perencanaan pile cap diketahui data-data perencanaan sebagai berikut:

- Lebar pile cap, b = 6300 mm
- Panjang pile cap, h = 3300 mm
- Tinggi pile cap, t = 1000 mm
- Selimut beton, c = 75 mm
- $\beta = 0,85 - 0,05/7(f_c' - 28) = 0,8$
- $M_u = 3421106105 \text{ Nmm}$

Direncanakan tulangan lentur pile cap:

- Diameter, D = 29 mm
- Jarak tulangan, s = 200 mm

$$d = t - c - 1/2 D$$

$$= 1000 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - \frac{1}{2} \times 29 \text{ mm}$$

$$= 910 \text{ mm}$$

$$M_n = M_u / \phi$$

$$= 3421106105 \text{ Nmm} / 0,9$$

$$= 380122,9006 \text{ kgm}$$

$$= 3801229006 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{bxd^2} \\
 &= \frac{3801229006Nmm}{6300mm \times (910mm)^2} \\
 &= 0,73N/mm^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \\
 &= \frac{400MPa}{0,85 \times 35MPa} \\
 &= 13,445
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{400MPa} \\
 &= 0,0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,5\rho_b \\
 &= 0,5 \times 0,85 \times \beta \times \left(\frac{f_{c'}}{f_y}\right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y}\right) \\
 &= 0,5 \times 0,85 \times 0,8 \times \left(\frac{35}{400}\right) \times \left(\frac{600}{600 + 400}\right) \\
 &= 0,018
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}\right) \\
 &= \frac{1}{13,445} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,445 \times 0,73}{400}}\right) \\
 &= 0,0018
 \end{aligned}$$

Kontrol rasio tulangan:

$$\rho_{min} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{maks}$$

$0,0035 \geq 0,0018 \leq 0,018$  (tidak memenuhi)

Maka dipakai  $\rho_{min}$

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= \rho b x d \\ &= 0,0035 \times 6300 \text{ mm} \times 910 \text{ mm} \\ &= 20076,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{pakai}} &= 1/4 \pi x d^2 x b/s \\ &= 1/4 \pi x 29^2 x 6300/200 \\ &= 20806,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &\leq A_{s_{pakai}} \\ 20043,45 \text{ mm}^2 &\leq 20806,38 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, tulangan lentur pada pile cap yang dipakai adalah D29-200

Selain tulangan lentur, pile cap juga akan dipasang tulangan susut. Pada SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1 menjelaskan luasan tulangan susut harus disediakan untuk  $f_y$  420MPa, rasio tulangan yang digunakan adalah 0,0018, sehingga luas tulangan susut adalah

$$\begin{aligned} A_{s_{susut}} &= \rho b x d \\ &= 0,0018 \times 6300 \text{ mm} \times 910 \text{ mm} \\ &= 10325,07 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan susut pile cap:

- Diameter, D = 22 mm
- Jarak tulangan, s = 200 mm

$$\begin{aligned} A_{s_{pakai}} &= 1/4 \pi x d^2 x b/s \\ &= 1/4 \pi x 22^2 x 6300/200 \end{aligned}$$

$$= 11974,18\text{mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s_{perlu}} \leq A_{s_{pakai}}$$

$$10325,07\text{mm}^2 \leq 11974,18\text{mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Maka tulangan susut pada pile cap yang dipakai adalah D22-200

Tabel 4.51 Rekapitulasi Penulangan Pilecap

Tipe	Tebal	Tulangan Arah X		Tulangan Arah Y	
		atas	bawah	atas	bawah
PC1	1m	D22-200	D29-200	D22-200	D22-200
PC2	1m	D22-200	D29-200	D22-200	D22-200
PC3	1m	D22-200	D29-200	D29-200	D29-200
PC4	1m	D22-200	D29-200	D29-200	D29-200
PC5	1m	D29-200	D29-200	D29-200	D29-200
PC6	1m	D22-200	D29-200	D29-200	D29-200
PC7	1m	D22-200	D29-200	D22-200	D22-200
PC8	1m	D22-200	D29-200	D29-200	D29-200
PC9	1m	D22-200	D29-200	D29-200	D29-200
PC10	1m	D22-200	D29-200	D29-200	D29-200
PC11	1m	D22-200	D29-200	D29-200	D29-200
PC12	1m	D29-200	D29-200	D29-200	D29-200
PC13	1m	D22-200	D29-200	D22-200	D29-200
PC14	1m	D22-200	D29-200	D29-200	D29-200
PC15	1m	D22-200	D29-200	D22-200	D29-200
PC16	1m	D22-200	D29-200	D29-200	D29-200
PC17	1m	D29-200	D29-200	D29-200	D29-200
PC18	1m	D22-200	D29-200	D29-200	D29-200
PC19	1m	D22-200	D29-200	D29-200	D29-200
PC20	1m	D22-200	D29-200	D29-200	D29-200

#### 4.6.4 Perencanaan Sloof

Sloof adalah elemen struktur bawah yang digunakan dengan tujuan untuk pengaku antar pile cap. Beban-beban yang

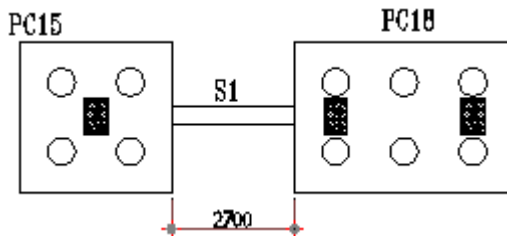
ada pada sloof terdiri dari beban sendiri, dan beban dinding yang berada pada lantai paling bawah

#### 4.6.4.1 Data Perencanaan

Sloof yang dihitung adalah sloof antara pilecap 15 dan pilecap 18 dengan data-data sebagai berikut:

Data perencanaan:

- Mutu beton,  $f_c'$  = 35 MPa
- Mutu baja lentur,  $f_y$  = 400 MPa
- Mutu baja geser,  $f_y$  = 240 MPa
- Panjang balok = 2700 mm
- Selimut beton,  $c$  = 75 mm
- Lebar balok = 400 mm
- Tinggi balok = 600 mm
- $\beta = 0,85 - 0,05/7(f_c' - 28) = 0,8$



Gambar 4.64 Sloof Tipe 1 (S1)

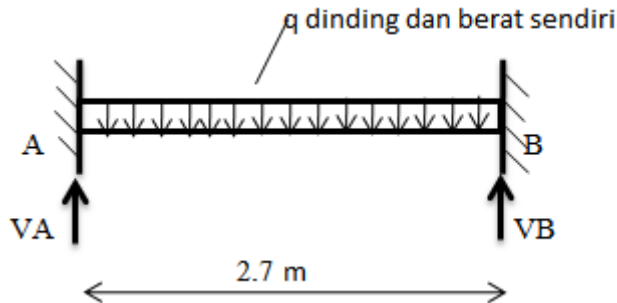
#### 4.6.4.2 Pembebanan Sloof

Beban yang diterima sloof terdiri dari beban dinding dan berat sendiri sloof.

Pembebanan sloof:

Beban mati:

- |                 |   |   |   |        |                   |
|-----------------|---|---|---|--------|-------------------|
| - Berat sendiri | = | $0,4\text{m} \times 0,6\text{m} \times 2400\text{kg/m}^3$ | = | 576    | kg/m              |
| - Dinding       | = | $250\text{kg/m}^2 \times 3,5\text{m}$                     | = | 875    | kg/m +            |
| Total qD        |   |   | = | 1451   | kg/m <sup>2</sup> |
| Total 1,4D      |   |   | = | 2031,4 | kg/m              |



Gambar 4.65 Mekanika Teknik Sloof

$$\begin{aligned}
 V_{max} &= V_A = V_B \\
 &= 1/2 \times 2031,4 \text{ kg/m} \times 2,7 \text{ m} \\
 &= 2742,39 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{max} &= 1/12 \times q \times L^2 \\
 &= 1/12 \times 2031,4 \text{ kg/m} \times (2,7 \text{ m})^2 \\
 &= 1234,08 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

#### 4.6.4.3 Penulangan Lentur Sloof

Pada perencanaan tulangan lentur sloof, diketahui data-data perencanaan sebagai berikut:

- Lebar balok,  $b$  = 400mm
- Tinggi balok,  $h$  = 600mm
- Selimut beton,  $c$  = 75mm
- $\beta = 0,85 - 0,05/7(f_c' - 28) = 0,8$
- $M_u$  = 1234,08kgm

Direncanakan tulangan lentur sloof:

- Diameter,  $D$  = 19mm
- Jumlah tulangan,  $n$  = 3 buah

$$d = h - c - \phi - 1/2D$$



$$\begin{aligned}
&= 600\text{mm} - 75\text{mm} - 10\text{mm} - \frac{1}{2} \times 19\text{mm} \\
&= 505,5\text{mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_n &= M_u / \phi \\
&= 1234,08\text{kgm} / 0,9 \\
&= 1371,195\text{kgm} \\
&= 13711950\text{Nmm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_n &= \frac{M_n}{bxd^2} \\
&= \frac{13711950\text{Nmm}}{400\text{mm} \times (505,5\text{mm})^2} \\
&= 0,134\text{N/mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \\
&= \frac{400\text{MPa}}{0,85 \times 35\text{MPa}} \\
&= 13,445
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
&= \frac{1,4}{400\text{MPa}} \\
&= 0,0035
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\rho_{max} &= 0,5\rho_b \\
&= 0,5 \times 0,85 \times \beta \times \left(\frac{f_{c'}}{f_y}\right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y}\right) \\
&= 0,5 \times 0,85 \times 0,8 \times \left(\frac{35}{400}\right) \times \left(\frac{600}{600 + 400}\right) \\
&= 0,018
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} x \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2xmxR_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{13,445} x \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2x13,445x0,134}{400}} \right) \\
 &= 0,0003
 \end{aligned}$$

Kontrol rasio tulangan:

$$\rho_{min} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{maks}$$

$$0,0035 \leq 0,0003 \leq 0,018 \text{ (tidak memenuhi)}$$

Maka yang dipakai adalah  $\rho_{min}$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{perlu}} &= \rho x b x d \\
 &= 0,0035 x 400 \text{ mm} x 505,5 \text{ mm} \\
 &= 707,7 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{pakai}} &= 1/4 x \pi x d^2 x n \\
 &= 1/4 x \pi x 19^2 x 3 \\
 &= 850,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - 2xc - 2x\phi - nxD}{n - 1} \\
 &= \frac{300 - 2x75 - 2x10 - 3x19}{3 - 1} \\
 &= 86,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s_{perlu}} \leq A_{s_{pakai}}$$

$$707,7 \text{ mm}^2 \leq 850,59 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$s \geq 25 \text{ mm}$$

$$86,5\text{mm} \geq 25\text{mm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, tulangan lentur pada sloof yang dipakai adalah 3D19

Tabel 4.52 Pemasangan Tulangan Lentur pada Sloof

Daerah	Atas	bawah
Tumpuan	3 D19	3 D19
Lapangan	3 D19	3 D19

#### 4.6.4.4 Penulangan Geser Sloof

Besarnya  $V_u$  pada muka join seperti yang telah dihitung pada mekanika sloof adalah sebagai berikut:

$$V_u = 27423,9\text{N}$$

Direncanakan tulangan geser:

- Diameter polos,  $\emptyset$  = 10mm
- Spasi tulangan, s = 150mm
- Jumlah kaki = 2 kaki

Perhitungan kuat geser beton ( $V_c$ ) dan kuat geser tulangan ( $V_s$ ):

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_wd \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 400 \times 505,5 \\
 &= 203359,33\text{N}
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$V_u \leq \emptyset V_c$$

$$27423,9\text{N} \leq 0,75 \times 203359,33\text{N}$$

$$27423,9\text{N} \leq 152519,49\text{N} \text{ (memenuhi)}$$

Karena kuat geser yang disumbangkan oleh beton sudah terpenuhi, maka dipasang tulangan minimum

$$\begin{aligned}
 A_{v,min} &= 0,35 \times b_w \times s / f_y \\
 &= 0,35 \times 400 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} / 240 \text{ MPa} \\
 &= 87,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v,pakai} &= 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \\
 &= 1/4 \times \pi \times 10^2 \times 2 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_{v,pertu} &\leq A_{v,pakai} \\
 87,5 \text{ mm}^2 &\leq 157,08 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 11.4.5.1 memberi syarat bahwa spasi antar tulangan geser tidak boleh melebihi  $d/2$

$$\begin{aligned}
 d/2 &= 505,5 \text{ mm} / 2 \\
 &= 252,75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol spasi tulangan geser:

$$\begin{aligned}
 s_{pakai} &\leq d/2 \\
 150 \text{ mm} &\leq 252,75 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Jadi, sloof dipasang tulangan geser Ø10-150. Pada daerah lapangan, tulangan geser dipasang sama dengan daerah tumpuan.

Tabel 4.53 Penulangan Geser pada Sloof

Daerah	Tul. Sengkang
tumpuan	Ø10 - 150
lapangan	Ø10 - 150

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut ini:

1. Dari hasil perhitungan preliminary desain, didapatkan data-data perencanaan dimensi yang meliputi struktur sekunder, struktur primer non pratekan dan struktur primer pratekan sebagai berikut:

- Struktur sekunder:
  - Balok anak tipe 1,3,6,7 = 20/35
  - Balok anak tipe 2,4,5 = 20/30
  - Balok lift = 30/40
  - Balok bordes = 30/40
  - Tebal pelat (semua tipe pelat) = 12 cm
  - Tebal pelat tangga = 15 cm
  - Tebal pelat bordes = 15 cm
- Struktur primer:
  - Balok induk memanjang tipe 1,2,3,5,6 = 30/40
  - Balok induk memanjang tipe 4 = 40/60
  - Balok induk melintang tipe 1,3 = 30/40
  - Balok induk melintang tipe 2,4-10 = 40/60
  - Balok pratekan tipe 1,2 = 40/60
  - Kolom tipe 1 = 50/80
  - Kolom tipe 2 = 50/70
  - Kolom tipe 3 = 30/80
  - Kolom tipe 4 = 50/60
  - Kolom tipe 5 = 40/60
  - Kolom tipe 6 = 40/50
  - Kolom tipe 7 = 40/40
  - Tebal dinding geser (arah X dan Y) = 30 cm

2. Dari hasil perhitunagn penulangan, didapatkan hasil perencanaan struktur sekunder pada Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A yang meliputi pelat lantai, balok anak, tangga, dan balok lift, balok bordes adalah sebagai berikut

Tulangan pelat (semua tipe kecuali tipe 7:

- Tulangan arah X = Ø12-200
- Tulanagn arah Y = Ø12-200

Tulangan pelat tipe 7:

- Tulangan arah X = Ø12-100
- Tulanagn arah Y = Ø12-100

Tulangan Tangga (semua tipe):

- Tulangan lentur tangga = D16-200
- Tulangan susut = Ø8-200
- Tulangan lentur bordes = D13-200

Tulangan Balok Anak:

- Tulangan lentur = 5D16
- Tulangan geser tumpuan = Ø10-150
- Tulangan geser lapangan = Ø10-150

Tulangan Balok Lift:

- Tulangan lentur = 5D16
- Tulangan geser tumpuan = Ø10-150
- Tulangan geser lapangan = Ø10-150

Tulangan Balok Bordes:

- Tulangan lentur = 3D13
- Tulangan geser tumpuan = Ø10-150
- Tulangan geser lapangan = Ø10-150

3. Dari analisa struktur yang telah dimodelkan pada proram bantu SAP 2000 didapatkan hasil sebagai berikut:

- sistem struktur yang digunakan adalah sistem ganda dengan rangka pemikul momen memikul gempa arah X adalah sebesar 25,06% dan arah Y sebesar 29,06%.
  - Gaya geser desain adalah sebesar 718064,129kg.
  - Periode yang didapatkan dari analisis struktur adalah sebesar 2,746 detik.
  - Partisipasi massa sudah mencapai 90% yaitu untuk arah X sebesar 96,4% dan arah Y sebesar 92,3%
  - Simpangan terbesar pada gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A Bekasi untuk simpangan arah X sebesar 64,337mm dan simpangan arah Y sebesar 55,828mm
4. Dari hasil perhitungan penulangan struktur utama non pratekan pada Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A yang meliputi balok induk, kolom, dan dinding geser adalah sebagai berikut:

Tulangan balok induk tipe 1:

- Tulangan lentur tumpuan atas = 5D19
- Tulangan lentur tumpuan bawah = 4D19
- Tulangan lentur lapangan atas = 4D19
- Tulangan lentur lapangan bawah = 4D19
- Tulangan torsi = 2D22
- Tulangan geser tumpuan = 4Ø12-100
- Tulangan geser lapangan = Ø12-120

Tulangan kolom tipe 1:

- Tulangan utama kolom = 14D22
- Tulangan geser tumpuan = 8D13-100
- Tulangan geser lapangan = 8D13-150

Tulangan dinding geser arah X:

- Tulangan vertikal = 48D22
- Tulangan horizontal = D13-200
- Dimensi komponen batas = 50/50
- Tulangan geser komponen batas = 8D13-100



5. Dari hasil perhitungan struktur utama pratekan pada Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A yang meliputi balok pratekan pada lantai 18 adalah sebagai berikut:

Tulangan balok induk tipe 1:

- Tulangan lentur tumpuan atas = 9D22
- Tulangan lentur tumpuan bawah = 5D22
- Tulangan lentur lapangan atas = 4D22
- Tulangan lentur lapangan bawah = 8D22
- Tulangan torsi = 4D19
- Tulangan geser tumpuan = D13-120
- Tulangan geser lapangan = D13-200
- Tipe Strand = ASTM A 416-06  
Grade 720
- Diameter = 12,7mm
- Luas Penampang,  $A_p$  = 98,7mm<sup>2</sup>
- Kuat Tarik,  $f_{pu}$  = 1860MPa
- Kuat Leleh,  $f_{py}$  = 1675MPa
- Jumlah Tendon = 1 buah
- Tipe Tendon = Tendon unit 5-15
- Jumlah Strand = 13 buah (Strand tipe ASTM)
- Luas Area Baja,  $A_{ps}$  = 1283mm<sup>2</sup>
- Min. Breaking Load = 2388kN
- Kehilangan pratekan = 27,22%

6. Dari hasil perhitungan pondasi pada Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A Bekasi, didapatkan hasil sebagai berikut:

- Tipe Tiang Pancang = Beton Prima Indonesia Kelas C
- Diameter luar = 600 mm
- Tebal dinding = 100 mm
- Allowable Axial Load = 215 ton
- Panjang tiang = 6-17 meter

## 5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat membantu dalam perencanaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan balok pratekan menggunakan metode post tensioned untuk memudahkan dalam pelaksanaan diantaranya adalah pada saat jeking. Metode post tensioned melakukan jeking pada saat beton sudah mengeras, hal ini memudahkan dalam pelaksanaan khususnya untuk bangunan gedung
2. Jeking pada balok pratekan dilakukan pada satu sisi saja, sisi lainnya dipasang angkur mati. Hal ini sangat menguntungkan dalam segi biaya yaitu lebih murah.
3. Kolom didesain dengan dimensi penampang berbeda tiap 4-5 lantai. Semakin tinggi lantai, dimensi kolom semakin kecil karena menerima beban yang kecil pula. Hal ini dapat menguntungkan dalam hal lebih ekonomis pada ruang dan lebih murah dalam biaya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung (SNI 1726-2012). Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013). Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013). Jakarta
- Budiono, I.P., Wahyuni, E., Isdarmanu. 2017. “Perbandingan Berat Material Baja pada Perencanaan Struktur Baja Sistem Rangka Pengaku Eksentris (SRPE) dengan Sistem Staggered Trus Frames (STF) pada Apartemen Purimas Surabaya”. Jurnal Teknik ITS 6, 2:D217-D223.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung (PPIUG). Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Fauzi, M. Z., Wahyuni, E., Suswanto, B. 2018. “Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Brooklyn Alam Sutera Menggunakan Struktur Komposit Baja-Beton dengan Sistem Rangka Berpengaku Eksentris”. Jurnal Teknik ITS 7, 1:D6-D11.
- Fitriyah, L., Suprobo, P., Wahyuni, E. 2017. “Modifikasi Desain Struktur Gedung Hotel Holiday Inn Express Surabaya dengan Menggunakan Sistem Rangka Bresing Eksentrik”. Jurnal Teknik ITS 6, 2:D271-D276.
- Imran, Iswandi. dan Zulkifli, Ediansjah. 2014. Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang. Bandung: ITB
- Imran, Iswandi. dan Hendrik, Fajar. 2014. Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang. Bandung: ITB

- Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 Sebagai Acuan Dasar Perencanaan Dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa. Jakarta
- Klana, K.I., Irmawan, M., Wahyuni., E. 2017. “Modifikasi Perencanaan Gedung Ibis Styles Hotel Tanah Abang Jakarta Pusat dengan Metode Beton Pracetak”. Jurnal Teknik ITS 6, 2:D223-D229
- Kusumowibowo, T.S., Wahyuni, E. 2017. “Modifikasi Perencanaan Gedung Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Koja Jakarta Dengan Metode Pracetak”. Jurnal Teknik ITS 6, 1:D19-D24.
- Lin, T.Y. dan Burns, H. 2000. Desain Struktur Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 1. Diterjemahkan Oleh Ir. Mediana, MS. Jakarta: Binarupa Aksara
- Nakazawa, Kazuto. 2000. Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi. Diterjemahkan oleh Ir. Suyono Sosrodarsono. Jakarta: P.T Pradnya Paramita
- Nawy, Edward.G. 2001. Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar Edisi Ketiga Jilid 1. Diterjemahkan Oleh Ir. Bambang Suryoatmojo, Ph.D. Jakarta: Erlangga.
- Pambudi, J.I., Wahyuni, E., Sidharta, A.S. 2017. “Perencanaan Bangunan Kiln Menggunakan Metode Pracetak”. Jurnal Teknik ITS 6, 2:D251:D256
- Panitia Pembaruan Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. 1977. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N.I-2. Bandung: OFFSET LPMB
- Purwono, Rachmat. 2005. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa. Surabaya: ITS Press.
- Purwono, Rachmat. dan Aji, Pujo. 2014. Disain Kapasitas Struktur Daktail Tahan Gempa Kuat. Surabaya: ITS Press.

- Ramadhani, F., Raka, I.G.P., Tavio. 2017. “Desain Modifikasi Struktur Gedung Hotel Premier Inn Surabaya dengan Menggunakan Beton Prategang dan Sistem Rangka pemikul Momen Khusus (SRPMK)”. Jurnal Teknik ITS 6, 2:D313-D318
- Soetoyo. 2015. Konstruksi Beton Pratekan. <URL:<https://dokumen.tips/documents/diktat-beton-prategang.html>>.
- Sunggono. 1995. Buku Teknik Sipil. Bandung: Nova.
- Tavio dan Kusuma, Benny. 2009. Desain Sistem Rangka Pemikul Momen dan Dinding Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa. Surabaya: ITS Press.
- Wang,C.K, dan Salmon, C.G. 1990. Desain Beton Bertulang Edisi ke 4 Jilid1. Jakarta: Erlangga.
- Yuliana, Y., Iranata, D., Wahyuni, E. 2017. “Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Tower C Apartemen Aspen Admiralty Jakarta Selatan dengan Menggunakan Baja-Beton Komposit”. Jurnal Teknik ITS 6, 2:C588-C593
- Zaky, A., Wahyuni, E., Isdarmanu. 2017. “Modifikasi Perencanaan Apartemen Grand Kamala Lagoon Menggunakan Struktur Baja Komposiit dengan Sistem Rangka Berpengaku Eksentris”. Jurnal Teknik ITS 6, 2:D198-D204.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



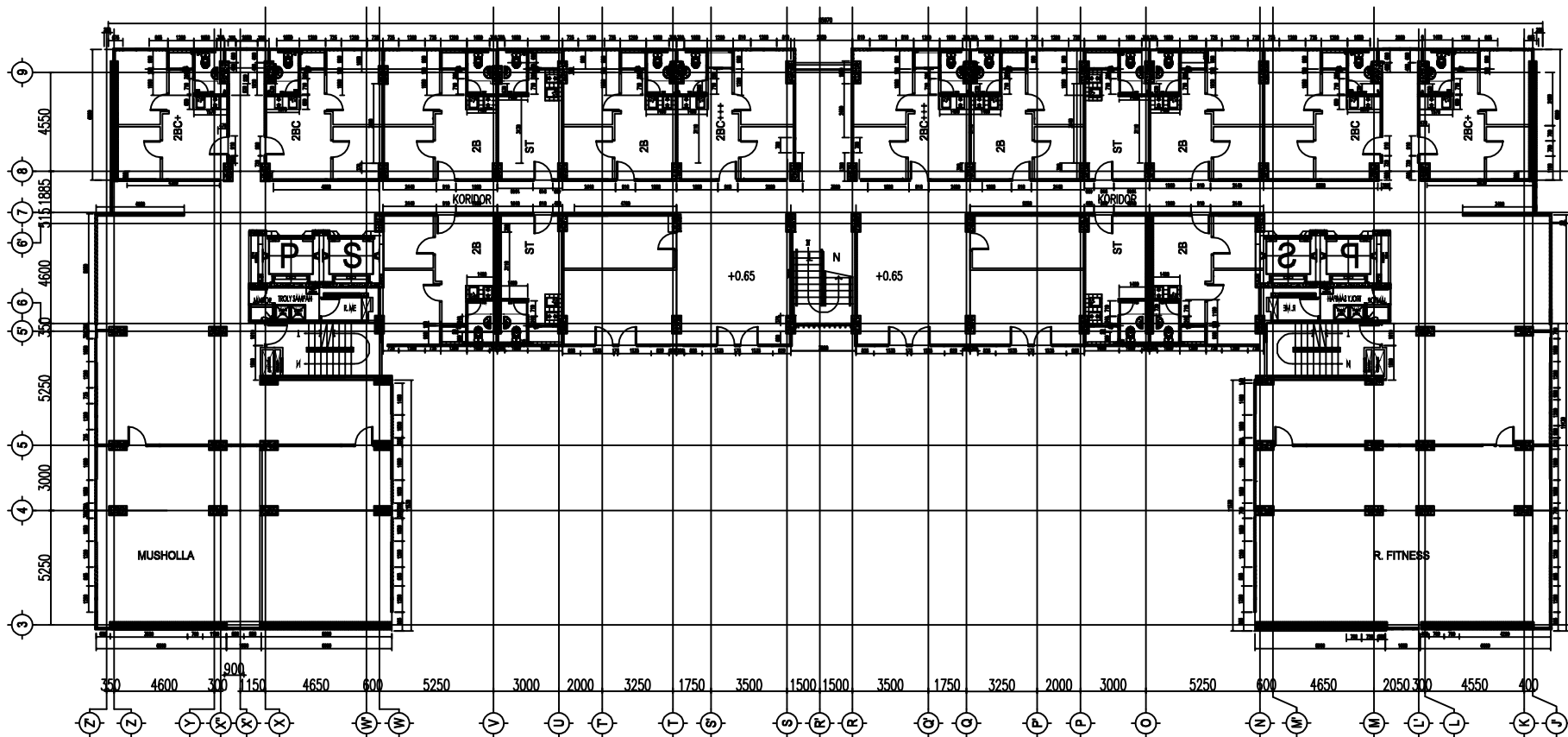
**LAYOUT (DENAHT. GROUND)**  
**SKALA 1:1500**



**INSTITUT TEKNOLOGI  
 SEPULUH NOPEMBER**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
 KEBUMIHAN  
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA MAHASISWA	PROYEK	KETERANGAN	NO.GBR	JML.GBR
<b>TUGAS AKHIR</b>	Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D. NIP. 197002011995122001 Dr. Ir. Djoko Irawan, MS NIP. 195902131987011001	Yogi Dwi Hakiki Putra NRP. 03111645000022	APARTEMEN LAGOON RESORT BEKASI	Mutu Bahan - Baja Tul lentur $f_y$ : 400 Mpa - Baja Tul Geser $f_y$ : 240 Mpa - Beton $f_c'$ : 35 Mpa - Beton Pratekan $f_c'$ : 40 Mpa	<b>1</b>	<b>47</b>





**DENAH TOWER A LT. LG**  
**SKALA 1:300**

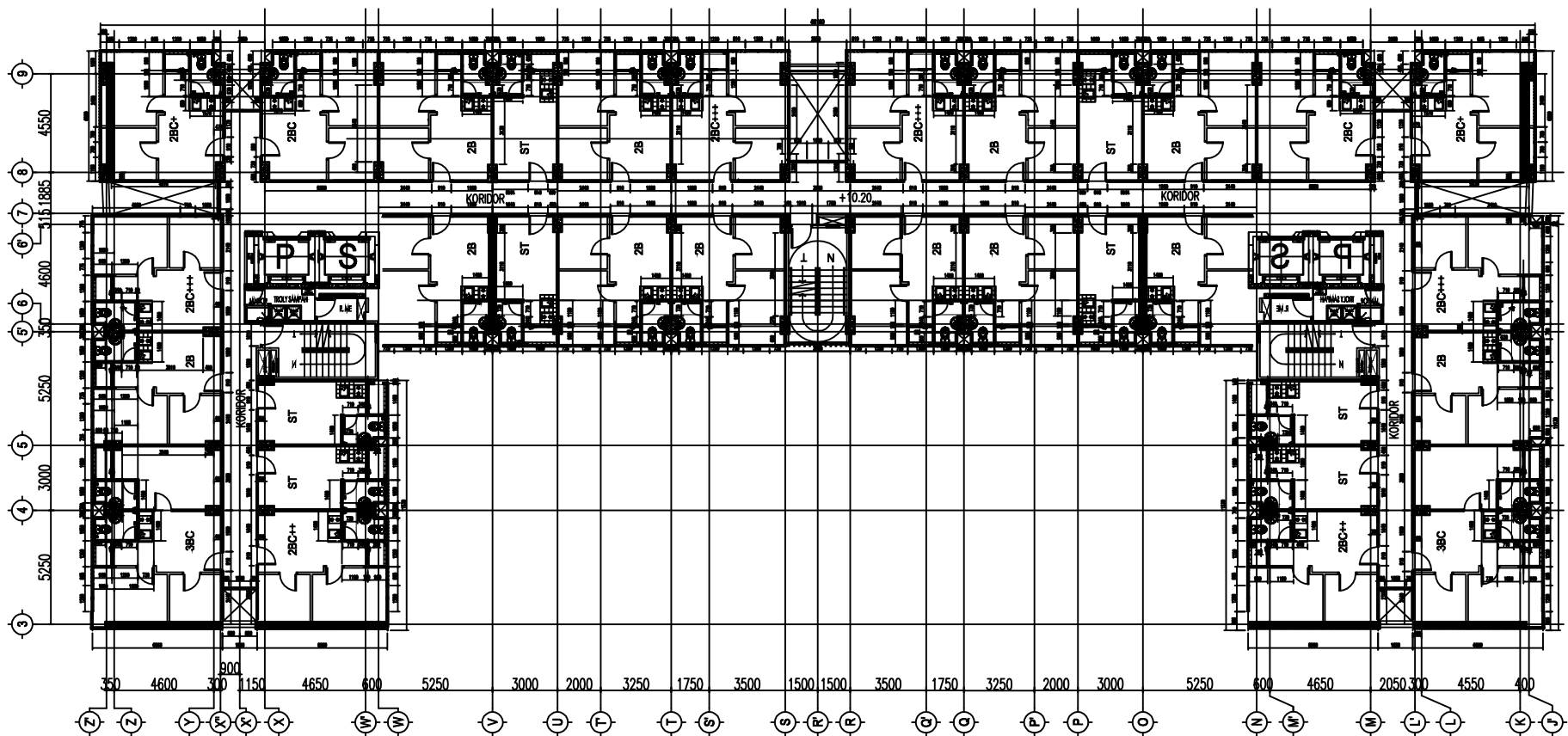


**INSTITUT TEKNOLOGI  
 SEPULUH NOPEMBER**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
 KEBUMIHAN  
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA MAHASISWA	PROYEK	KETERANGAN	NO.GBR	JML.GBR
<b>TUGAS AKHIR</b>	Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D. NIP. 197002011995122001 Dr. Ir. Djoko Irawan, MS NIP. 195902131987011001	Yogi Dwi Hakiki Putra NRP. 03111645000022	APARTEMEN LAGOON RESORT BEKASI	Mutu Bahan - Baja Tul lentur fy : 400 Mpa - Baja Tul Geser fy : 240 Mpa - Beton fc' : 35 Mpa - Beton Pratekan fc' : 40 Mpa	<b>2</b>	<b>47</b>







**DENAH TOWER A LT. 2**

SKALA 1:300



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
  
TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

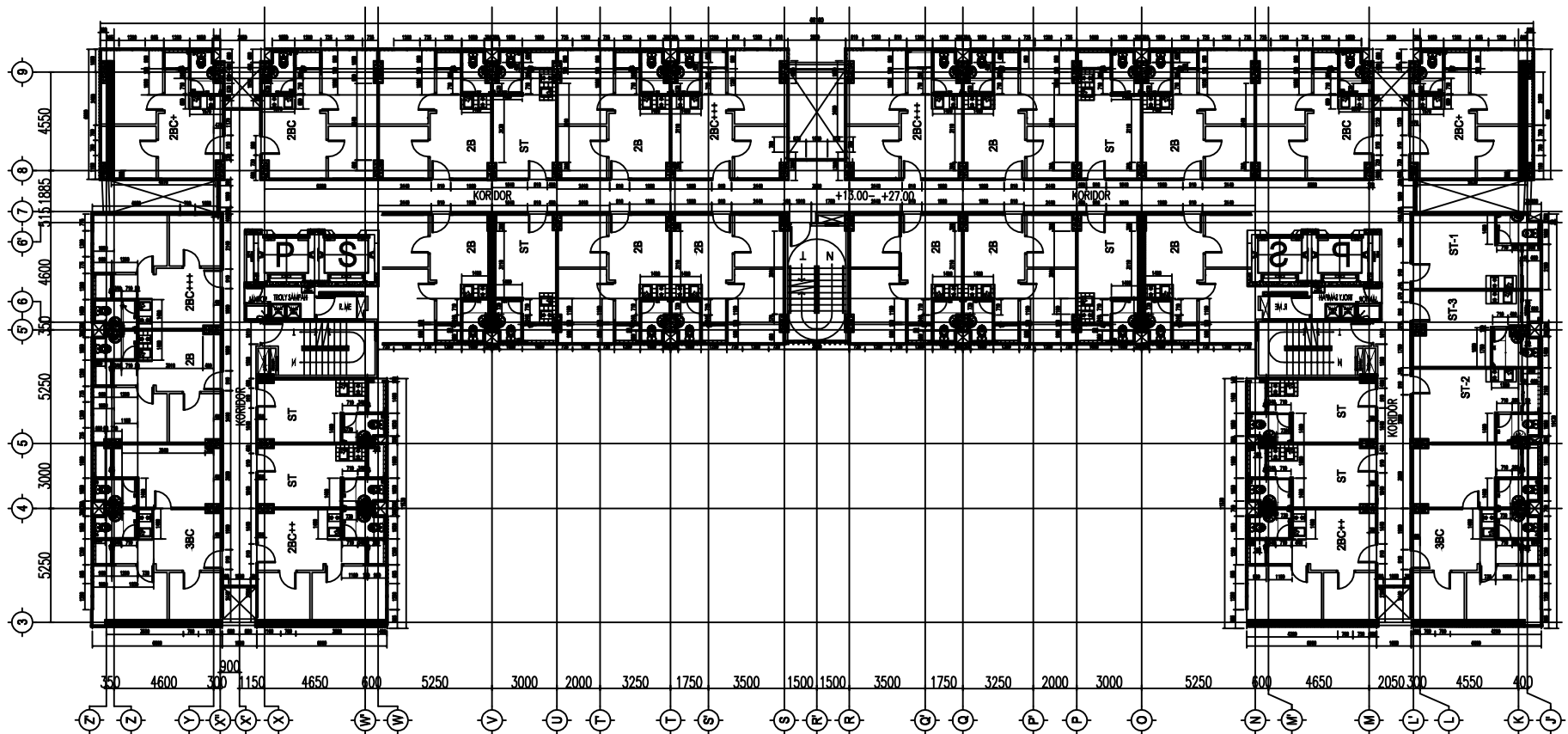
NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
- Beton  $f_c'$  : 35 Mpa  
- Beton Pratekan  $f_c'$  : 40 Mpa

NO.GBR  
5

JML.GBR  
47



**DENAH TOWER A LT. 3-8 TIPIKAL**  
**SKALA 1:300**



**INSTITUT TEKNOLOGI  
 SEPULUH NOPEMBER**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
 KEBUMIHAN  
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

**JUDUL TUGAS**  
**TUGAS AKHIR**

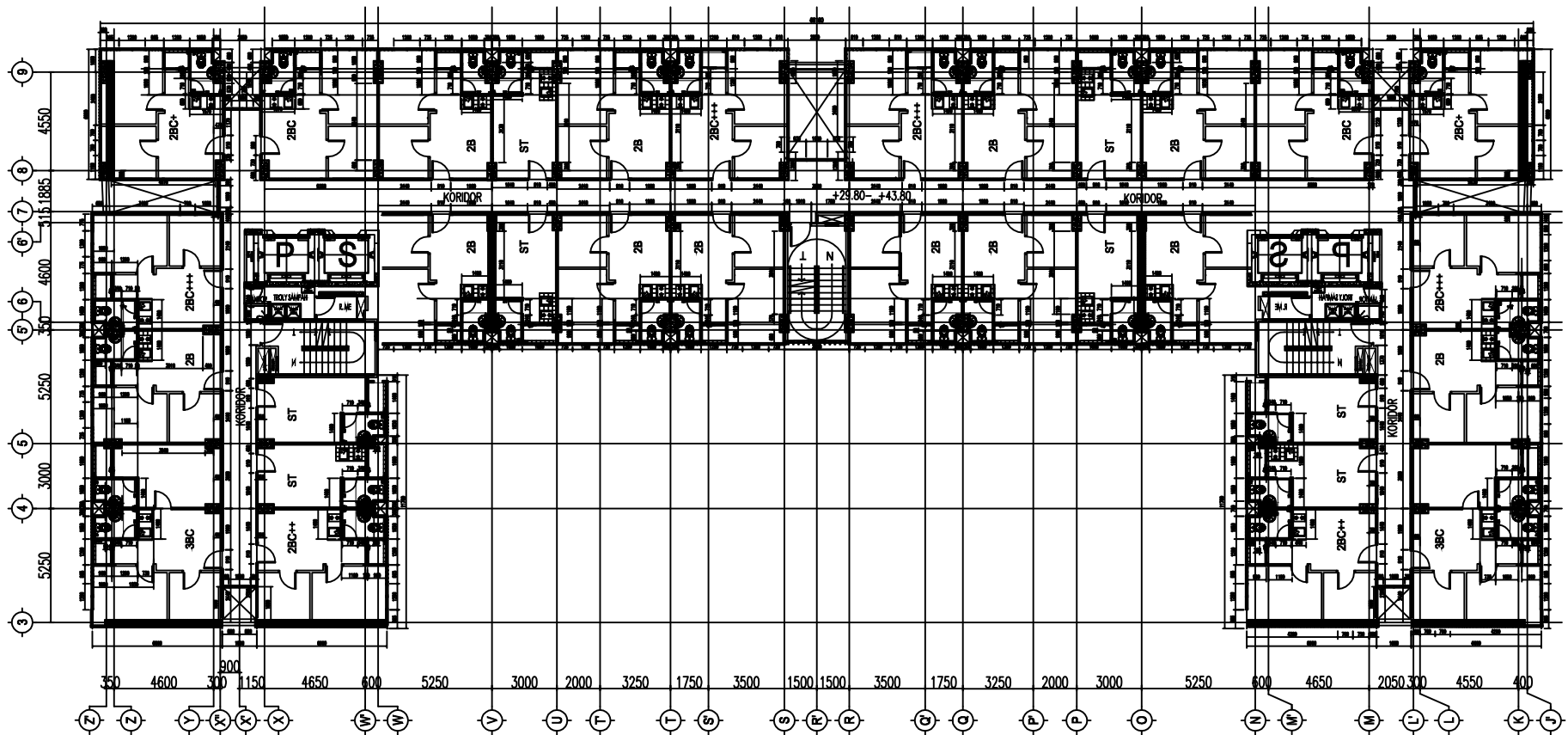
**DOSEN PEMBIMBING**  
 Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
 NIP. 197002011995122001  
 Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
 NIP. 195902131987011001

**NAMA MAHASISWA**  
 Yogi Dwi Hakiki Putra  
 NRP. 03111645000022

**PROYEK**  
 APARTEMEN LAGOON  
 RESORT BEKASI

**KETERANGAN**  
 Mutu Bahan  
 - Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
 - Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
 - Beton  $f_c'$  : 35 Mpa  
 - Beton Pratekan  $f_c'$  : 40 Mpa

**NO.GBR** **JML.GBR**  
 6 47



**DENAH TOWER A LT. 9-14 TIPIKAL**  
**SKALA 1:300**



**INSTITUT TEKNOLOGI  
 SEPULUH NOPEMBER**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
 KEBUMIHAN  
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

**JUDUL TUGAS**  
**TUGAS AKHIR**

**DOSEN PEMBIMBING**  
 Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
 NIP. 197002011995122001  
 Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
 NIP. 195902131987011001

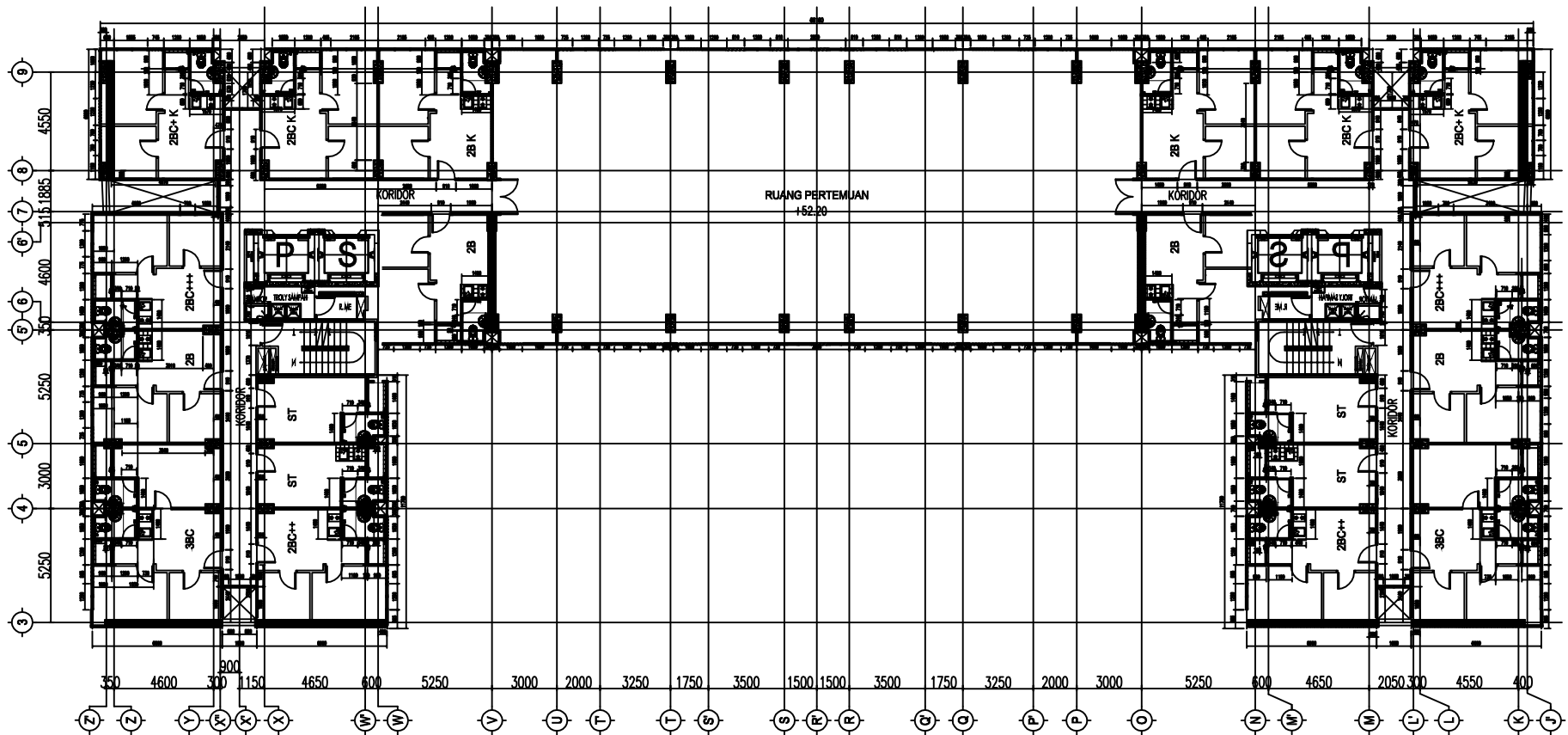
**NAMA MAHASISWA**  
 Yogi Dwi Hakiki Putra  
 NRP. 03111645000022

**PROYEK**  
 APARTEMEN LAGOON  
 RESORT BEKASI

**KETERANGAN**  
 Mutu Bahan  
 - Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
 - Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
 - Beton  $f_c'$  : 35 Mpa  
 - Beton Pratekan  $f_c'$  : 40 Mpa

**NO.GBR** **JML.GBR**  
 7 47





**DENAH TOWER A LT. 17**

SKALA 1:300



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
  
TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Diklo Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

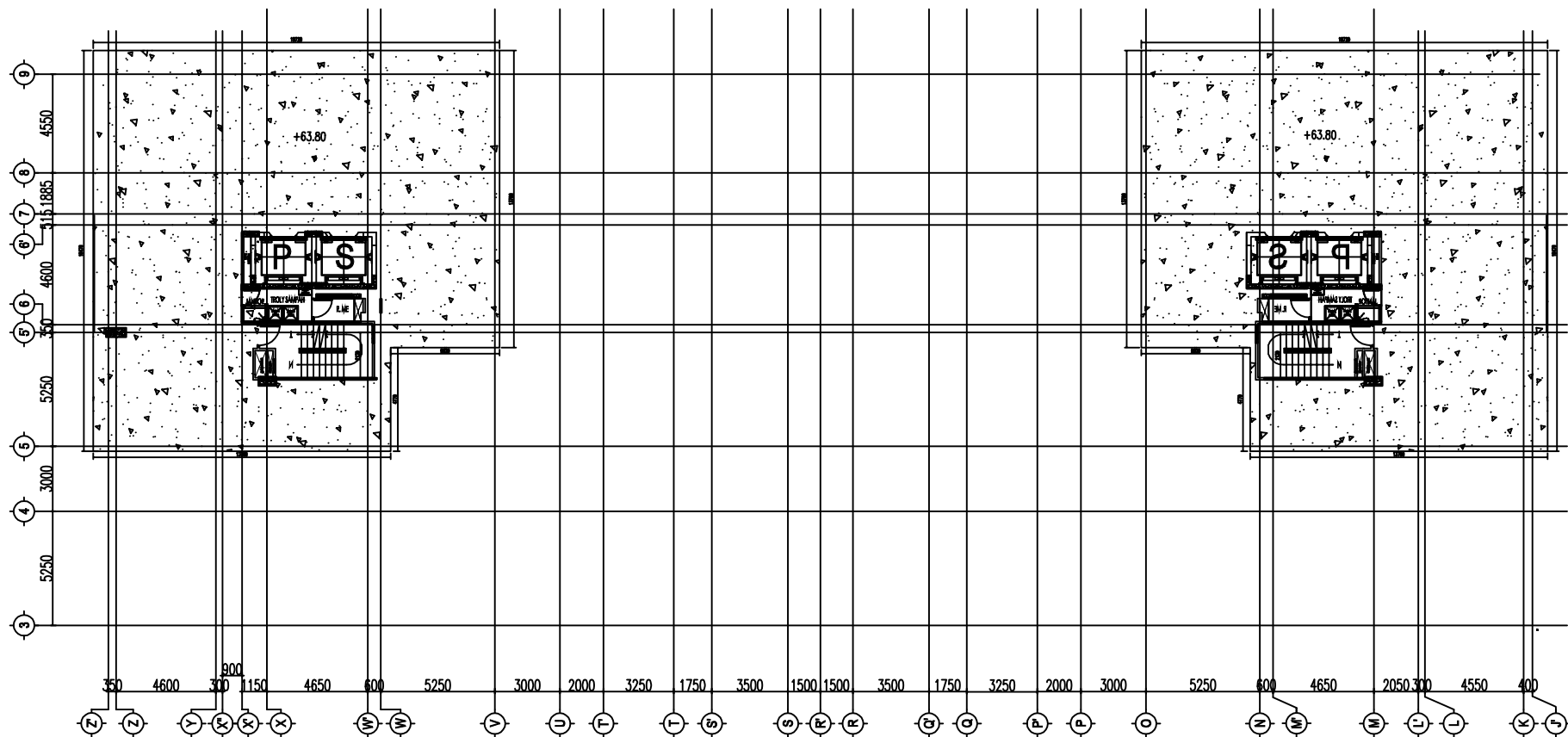
KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
- Beton  $f'_c$  : 35 Mpa  
- Beton Pratekan  $f'_c$  : 40 Mpa

NO.GBR	JML.GBR
9	47









**DENAH TOWER A LT. ATAP**  
**SKALA 1:300**



**INSTITUT TEKNOLOGI  
 SEPULUH NOPEMBER**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
 KEBUMIHAN  
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

**JUDUL TUGAS**  
  
**TUGAS AKHIR**

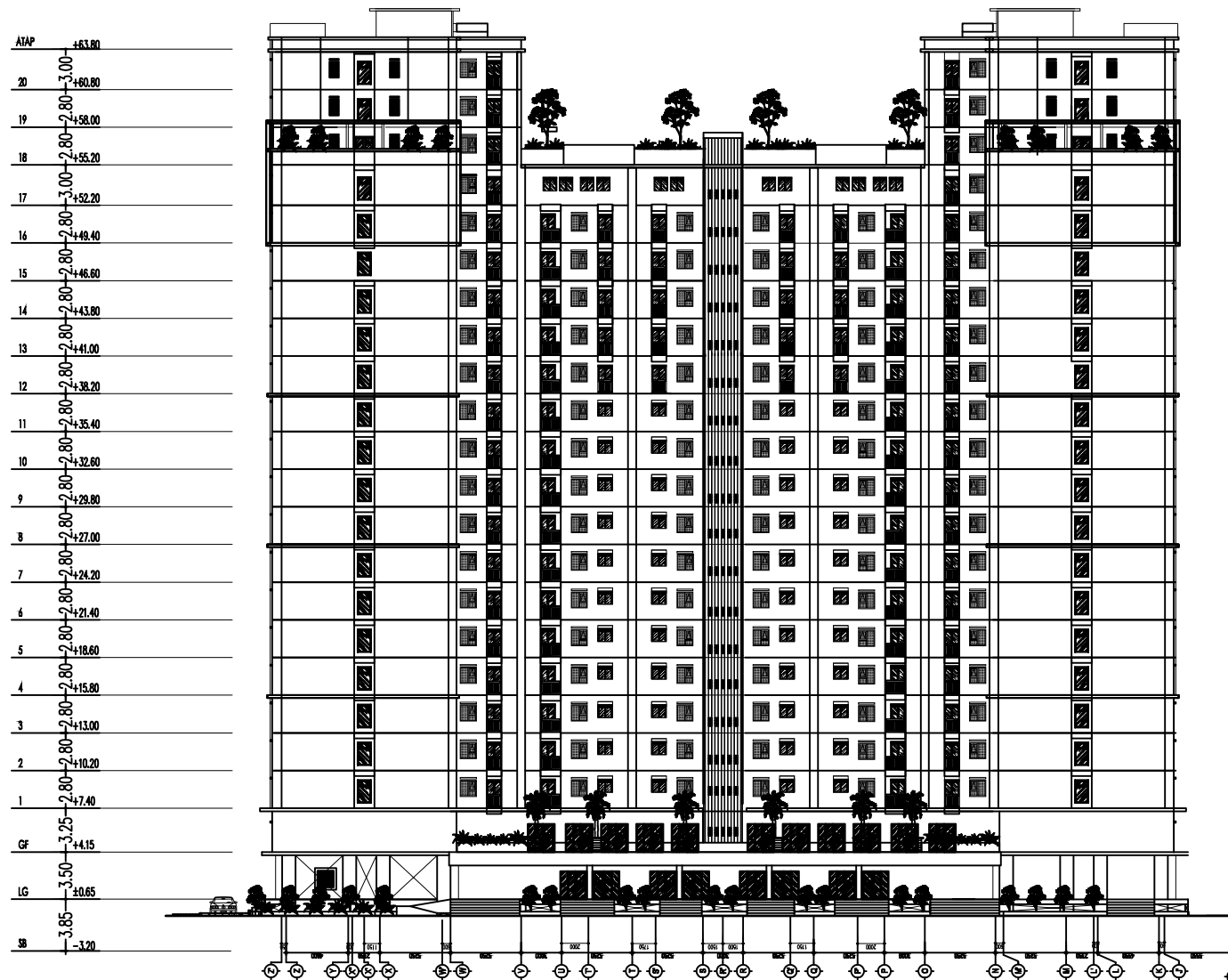
**DOSEN PEMBIMBING**  
 Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
 NIP. 197002011995122001  
 Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
 NIP. 195902131987011001

**NAMA MAHASISWA**  
 Yogi Dwi Hakiki Putra  
 NRP. 03111645000022

**PROYEK**  
 APARTEMEN LAGOON  
 RESORT BEKASI

**KETERANGAN**  
 Mutu Bahan  
 - Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
 - Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
 - Beton  $f_c'$  : 35 Mpa  
 - Beton Pratekan  $f_c'$  : 40 Mpa

**NO.GBR** **JML.GBR**  
 12 47

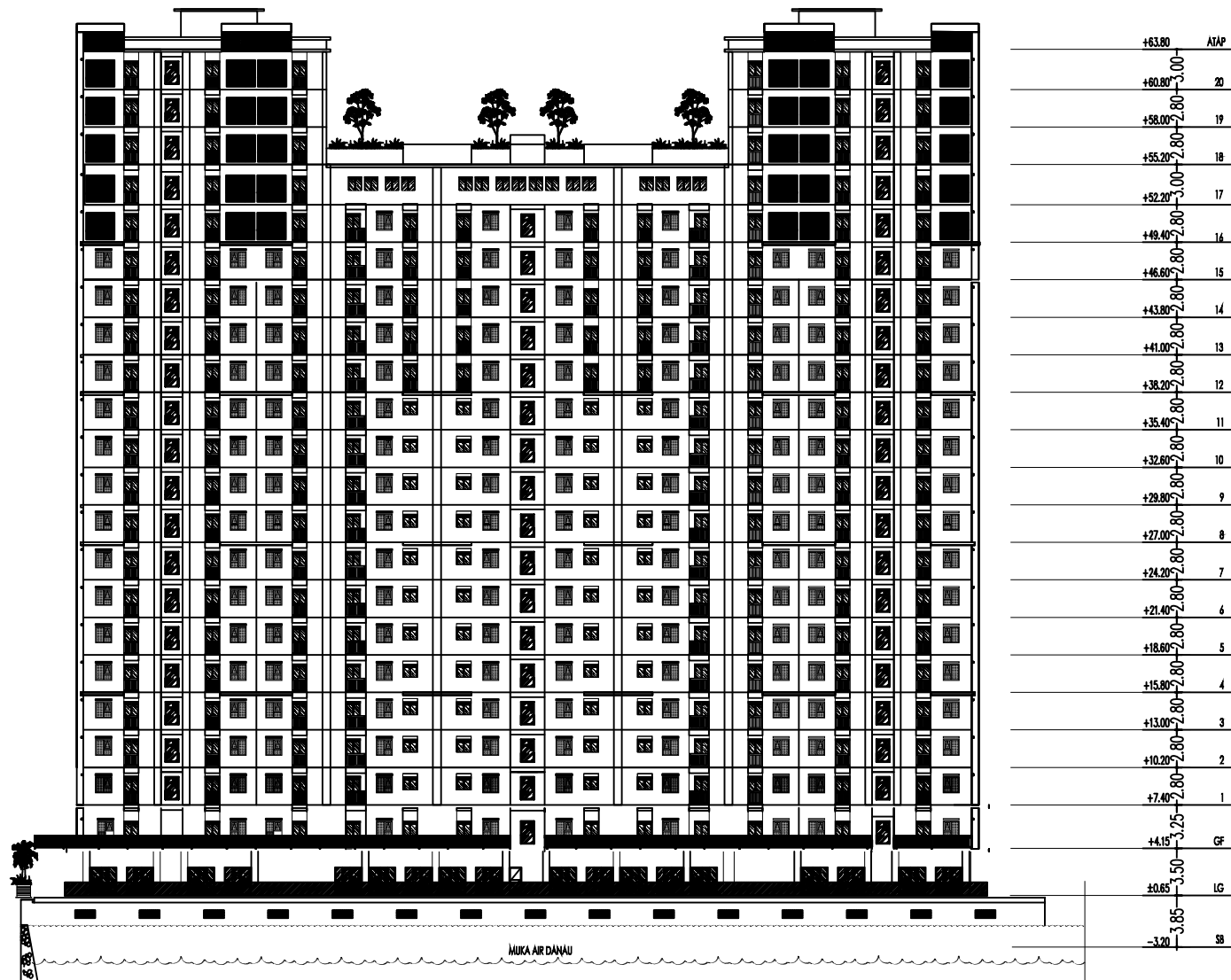


**TAMPAK DEPAN TOWER A**  
SKALA 1:500



**INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA MAHASISWA	PROYEK	KETERANGAN	NO.GBR	JML.GBR
TUGAS AKHIR	Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D. NIP. 197002011995122001 Dr. Ir. Djoko Irawan, MS NIP. 195902131987011001	Yogi Dwi Hakiki Putra NRP. 03111645000022	APARTEMEN LAGOON RESORT BEKASI	Mutu Bahan - Baja Tul lentur fy : 400 Mpa - Baja Tul Geser fy : 240 Mpa - Beton fc' : 35 Mpa - Beton Pratekan fc' : 40 Mpa	13	47



**TAMPAK BELAKANG TOWER A**  
SKALA 1:500



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
**TUGAS AKHIR**

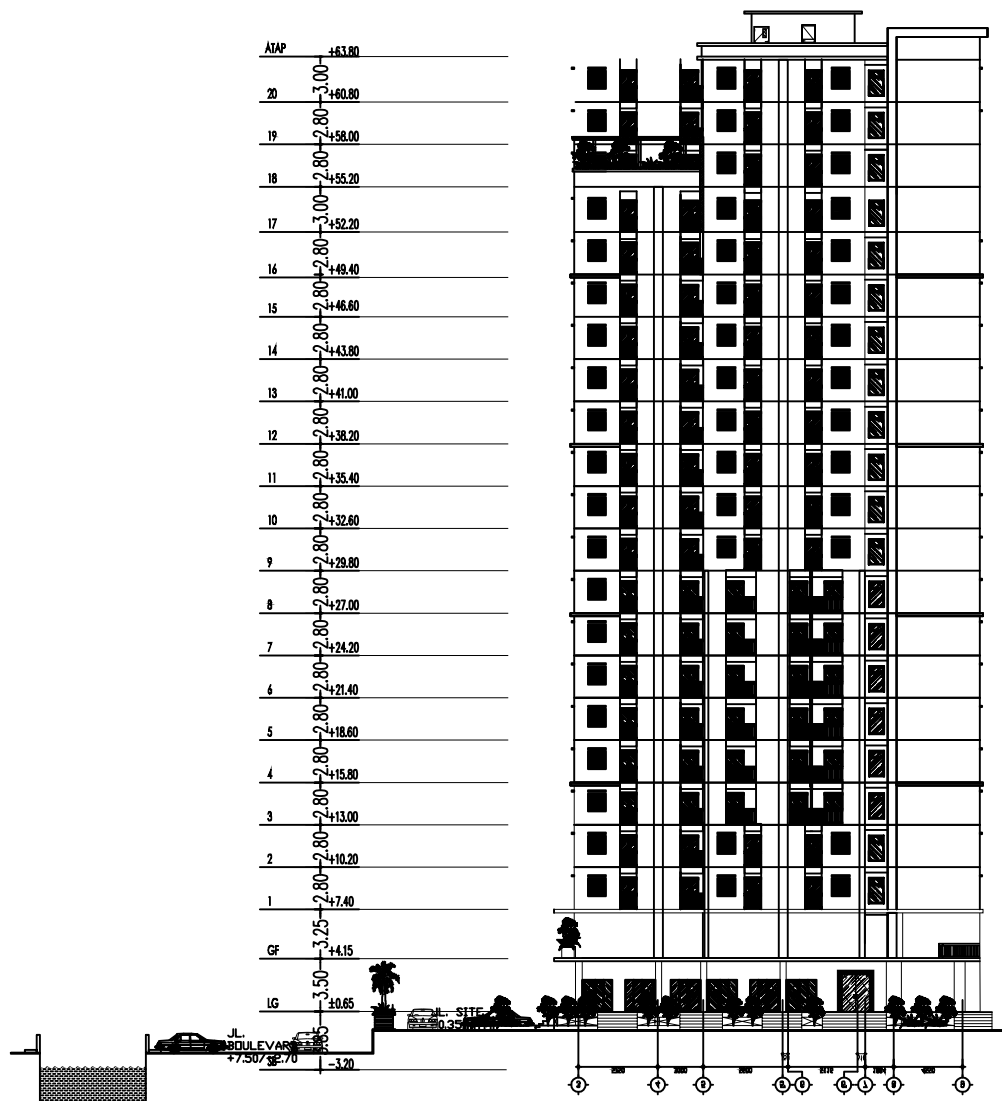
DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
- Beton  $f_c'$  : 35 Mpa  
- Beton Pratekan  $f_c'$  : 40 Mpa

NO.GBR  
14  
JML.GBR  
47



**TAMPAK SAMPING KIRI TOWER A**  
SKALA 1:500



**INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

**JUDUL TUGAS**  
  
**TUGAS AKHIR**

**DOSEN PEMBIMBING**  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

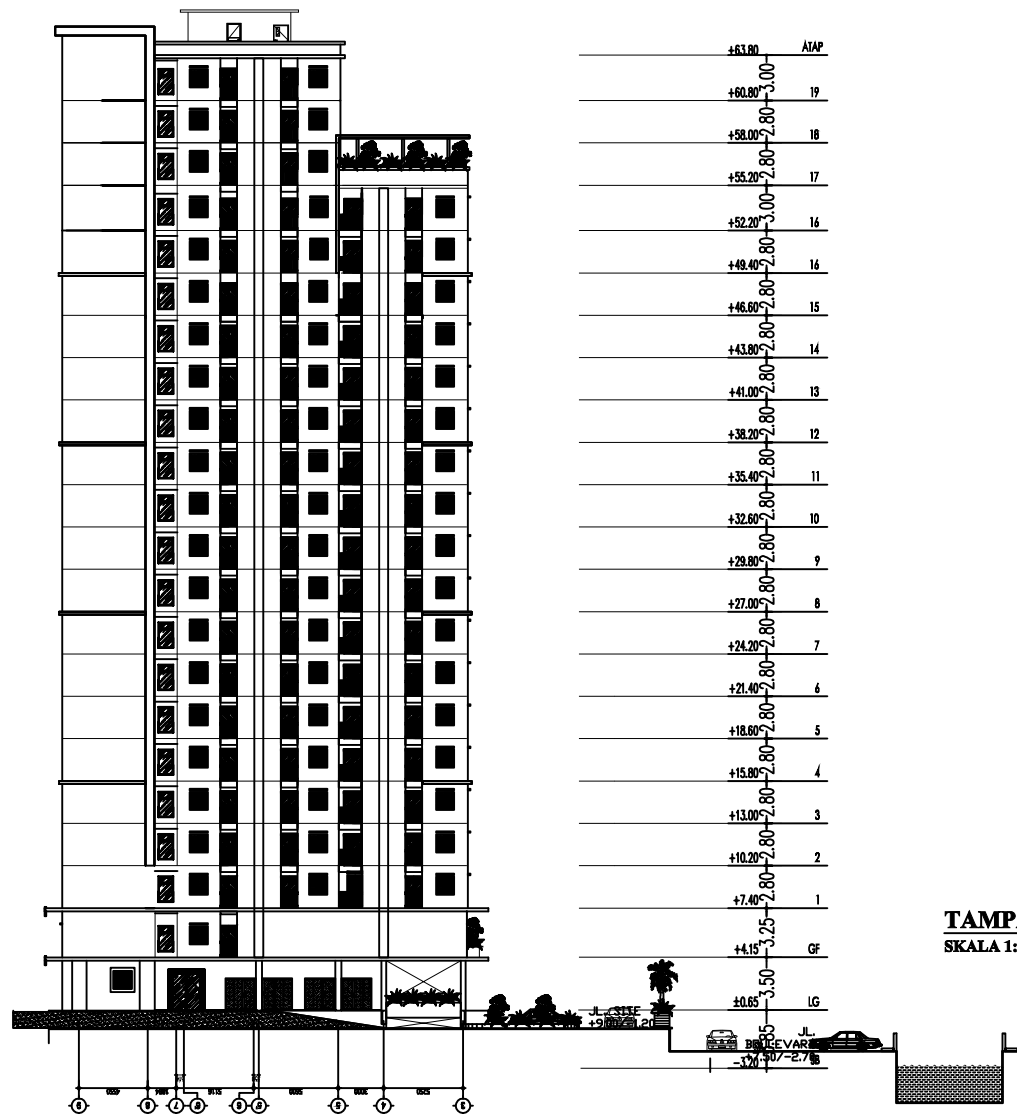
**NAMA MAHASISWA**  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

**PROYEK**  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

**KETERANGAN**  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
- Beton  $f_c'$  : 35 Mpa  
- Beton Pratekan  $f_c'$  : 40 Mpa

**NO.GBR**  
  
**15**

**JML.GBR**  
  
**47**

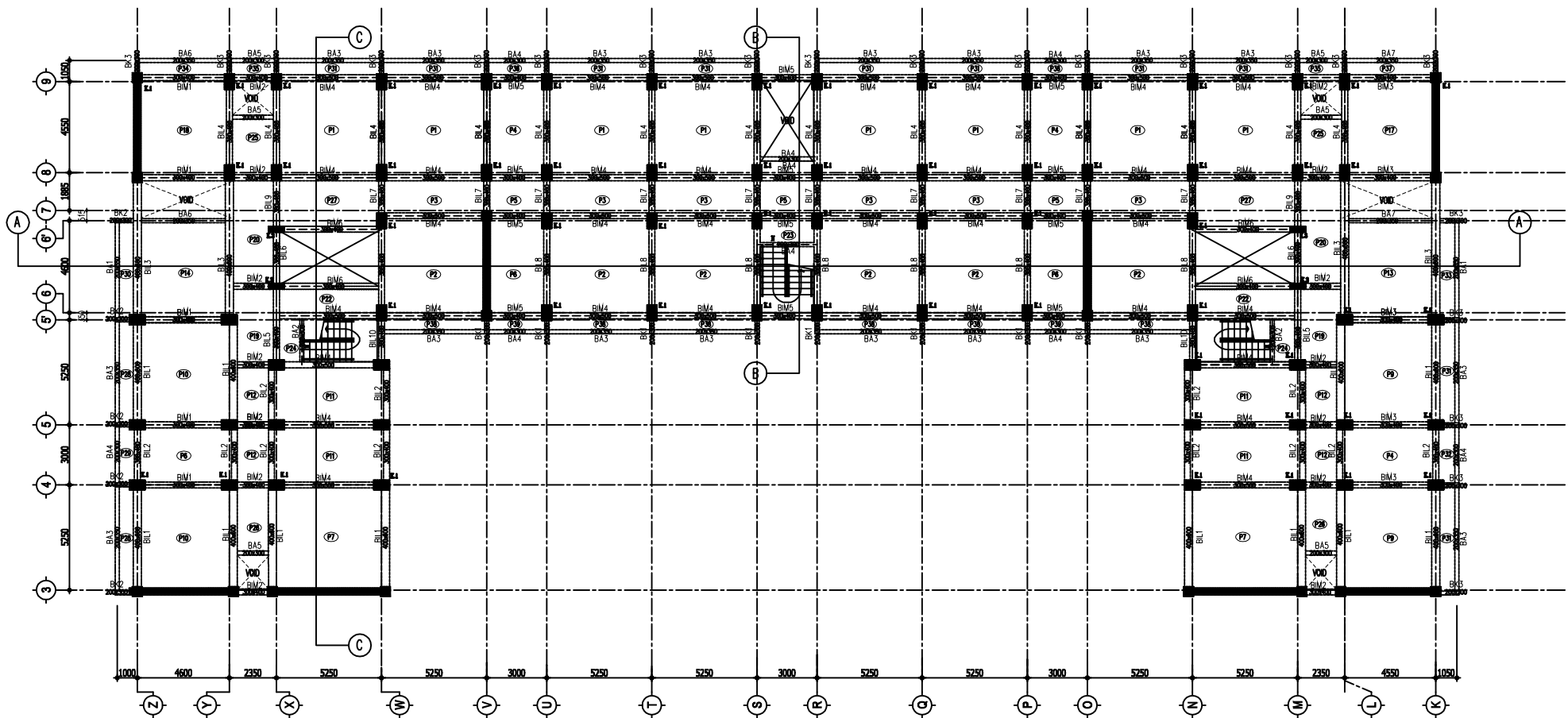


**TAMPAK SAMPING KANAN TOWER A**  
SKALA 1:500



**INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA MAHASISWA	PROYEK	KETERANGAN	NO.GBR	JML.GBR
TUGAS AKHIR	Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D. NIP. 197002011995122001 Dr. Ir. Djoko Irawan, MS NIP. 195902131987011001	Yogi Dwi Hakiki Putra NRP. 03111645000022	APARTEMEN LAGOON RESORT BEKASI	Mutu Bahan - Baja Tul lentur fy : 400 Mpa - Baja Tul Geser fy : 240 Mpa - Beton fc' : 35 Mpa - Beton Pratekan fc' : 40 Mpa	16	47



KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P1	5,25	4,55	0,12
P2	5,25	4,60	0,12
P3	5,25	2,40	0,12
P4	3,00	4,55	0,12
P5	3,00	2,40	0,12
P6	3,00	4,60	0,12
P7	5,25	5,25	0,12
P8	2,35	5,25	0,12
P9	4,55	5,25	0,12
P10	4,60	5,25	0,12
P11	5,25	3,00	0,12
P12	2,35	3,00	0,12
P13	4,55	4,95	0,12
P14	4,60	4,95	0,12
P15	4,55	2,40	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P16	4,60	2,40	0,12
P17	4,55	4,55	0,12
P18	4,60	4,55	0,12
P19	4,20	2,35	0,12
P20	5,40	2,35	0,12
P21	4,55	2,35	0,12
P22	1,60	5,25	0,12
P23	1,188	3,00	0,12
P24	2,775	1,264	0,12
P25	2,77	2,35	0,12
P26	3,40	2,35	0,12
P27	5,25	2,825	0,12
P28	1,00	5,25	0,12
P29	1,00	3,00	0,12
P30	1,00	4,95	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P31	1,05	5,25	0,12
P32	1,05	3,00	0,12
P33	1,05	4,95	0,12
P34	1,05	4,90	0,12
P35	1,05	2,35	0,12
P36	1,05	3,00	0,12
P37	1,05	4,55	0,12
P38	0,95	5,25	0,12
P39	0,95	3,00	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
SWX1	0,30		4,55
SWX2	0,30		5,25
SWX3	0,30		4,60
SWY1	0,30		4,55
SWY2	0,30		4,60

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
BIL1	0,40	0,60	5,25
BIL2	0,30	0,40	3,00
BIL3	0,40	0,60	7,35
BIL4	0,30	0,40	4,55
BIL5	0,30	0,40	4,20
BIL6	0,30	0,40	2,575
BIL7	0,30	0,40	2,40
BIL8	0,30	0,40	4,60
BIL9	0,30	0,40	2,825
BIL10	0,30	0,40	2,60
BIM1	0,30	0,40	4,60
BIM2	0,30	0,40	2,35
BIM3	0,30	0,40	4,55
BIM4	0,30	0,50	5,25
BIM5	0,30	0,40	3,00

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
BIM6	0,30	0,40	2,625
BA1	0,20	0,35	4,95
BA2	0,20	0,30	2,60
BA3	0,20	0,35	5,25
BA4	0,20	0,30	3,00
BA5	0,20	0,30	2,35
BA6	0,20	0,35	4,60
BA7	0,20	0,35	4,55
BP1	0,40	0,60	11,55
BP2	0,40	0,60	11,55
BK1	0,20	0,30	0,95
BK2	0,20	0,30	1,00
BK3	0,20	0,30	1,05
BB1	0,30	0,40	3,00
BB2	0,30	0,40	2,60

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
K1	0,50	0,80	3,50
K2	0,50	0,70	2,80
K3	0,25	0,80	3,50
K4	0,50	0,60	2,80
K5	0,40	0,60	2,80
K6	0,40	0,50	3,00
K7	0,40	0,40	3,00
BL	0,30	0,40	2,575

**DENAH PEMBALOKAN LT. GF**  
**SKALA 1:300**



**INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

**JUDUL TUGAS**  
  
**TUGAS AKHIR**

**DOSEN PEMBIMBING**  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

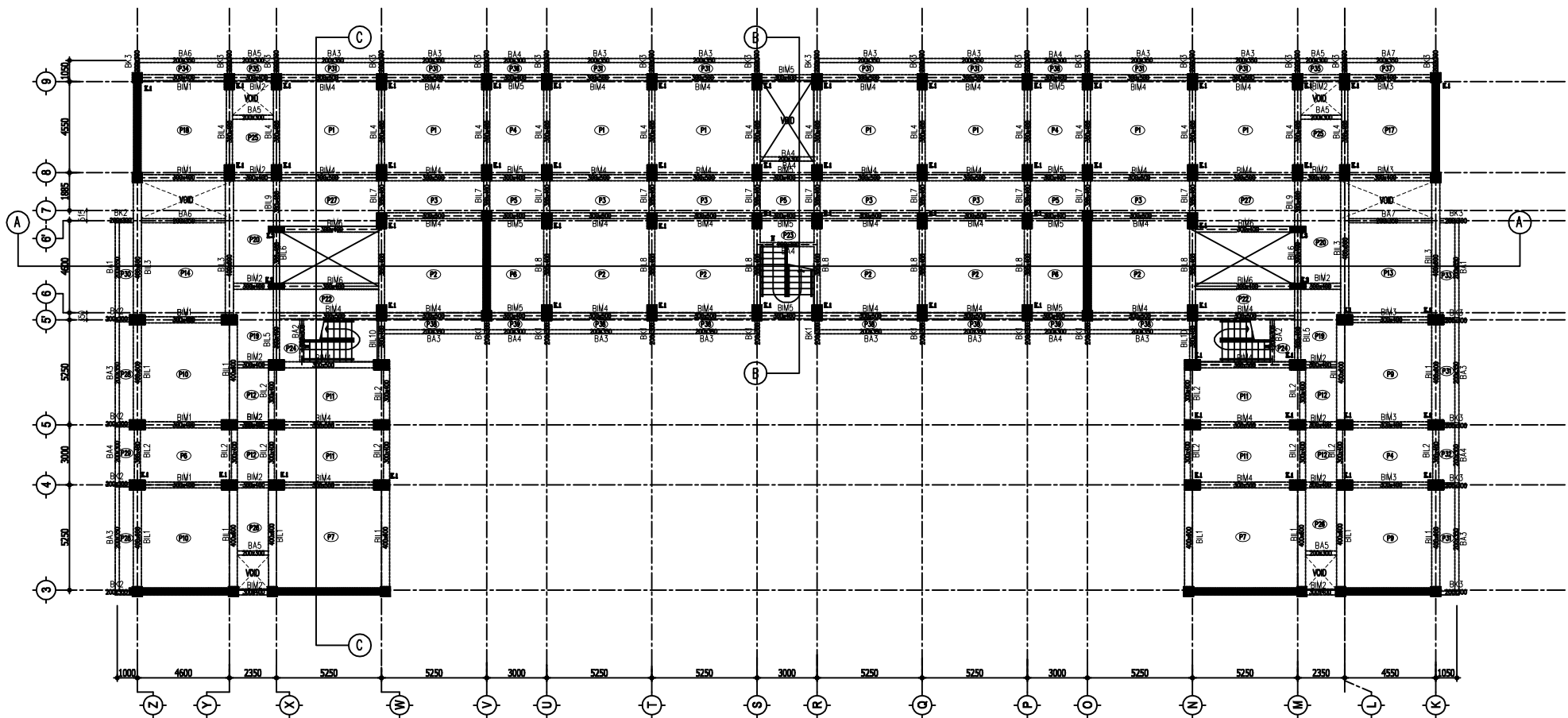
**NAMA MAHASISWA**  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

**PROYEK**  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

**KETERANGAN**  
Mutu Bahan  
- Baja Tui lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tui Geser fy : 240 Mpa  
- Beton fc' : 35 Mpa  
- Beton Pratekan fc' : 40 Mpa

**NO.GBR** **JML.GBR**  
17 47





KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P1	5,25	4,55	0,12
P2	5,25	4,60	0,12
P3	5,25	2,40	0,12
P4	3,00	4,55	0,12
P5	3,00	2,40	0,12
P6	3,00	4,60	0,12
P7	5,25	5,25	0,12
P8	2,35	5,25	0,12
P9	4,55	5,25	0,12
P10	4,60	5,25	0,12
P11	5,25	3,00	0,12
P12	2,35	3,00	0,12
P13	4,55	4,95	0,12
P14	4,60	4,95	0,12
P15	4,55	2,40	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P16	4,60	2,40	0,12
P17	4,55	4,55	0,12
P18	4,60	4,55	0,12
P19	4,20	2,35	0,12
P20	5,40	2,35	0,12
P21	4,55	2,35	0,12
P22	1,60	5,25	0,12
P23	1,188	3,00	0,12
P24	2,775	1,264	0,12
P25	2,77	2,35	0,12
P26	3,40	2,35	0,12
P27	5,25	2,825	0,12
P28	1,00	5,25	0,12
P29	1,00	3,00	0,12
P30	1,00	4,95	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P31	1,05	5,25	0,12
P32	1,05	3,00	0,12
P33	1,05	4,95	0,12
P34	1,05	4,90	0,12
P35	1,05	2,35	0,12
P36	1,05	3,00	0,12
P37	1,05	4,55	0,12
P38	0,95	5,25	0,12
P39	0,95	3,00	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
SWX1	0,30		4,55
SWX2	0,30		5,25
SWX3	0,30		4,60
SWY1	0,30		4,55
SWY2	0,30		4,60

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
BIL1	0,40	0,60	5,25
BIL2	0,30	0,40	3,00
BIL3	0,40	0,60	7,35
BIL4	0,30	0,40	4,55
BIL5	0,30	0,40	4,20
BIL6	0,30	0,40	2,575
BIL7	0,30	0,40	2,40
BIL8	0,30	0,40	4,60
BIL9	0,30	0,40	2,825
BIL10	0,30	0,40	2,60
BIM1	0,30	0,40	4,60
BIM2	0,30	0,40	2,35
BIM3	0,30	0,40	4,55
BIM4	0,30	0,50	5,25
BIM5	0,30	0,40	3,00

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
BIM6	0,30	0,40	2,625
BA1	0,20	0,35	4,95
BA2	0,20	0,30	2,60
BA3	0,20	0,35	5,25
BA4	0,20	0,30	3,00
BA5	0,20	0,30	2,35
BA6	0,20	0,35	4,60
BA7	0,20	0,35	4,55
BP1	0,40	0,60	11,55
BP2	0,40	0,60	11,55
BK1	0,20	0,30	0,95
BK2	0,20	0,30	1,00
BK3	0,20	0,30	1,05
BB1	0,30	0,40	3,00
BB2	0,30	0,40	2,60

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
K1	0,50	0,80	3,50
K2	0,50	0,70	2,80
K3	0,25	0,80	3,50
K4	0,50	0,60	2,80
K5	0,40	0,60	2,80
K6	0,40	0,50	3,00
K7	0,40	0,40	3,00
BL	0,30	0,40	2,575

**DENAH PEMBALOKAN LT. 1-16**  
**SKALA 1:300**



**INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

**JUDUL TUGAS**  
  
**TUGAS AKHIR**

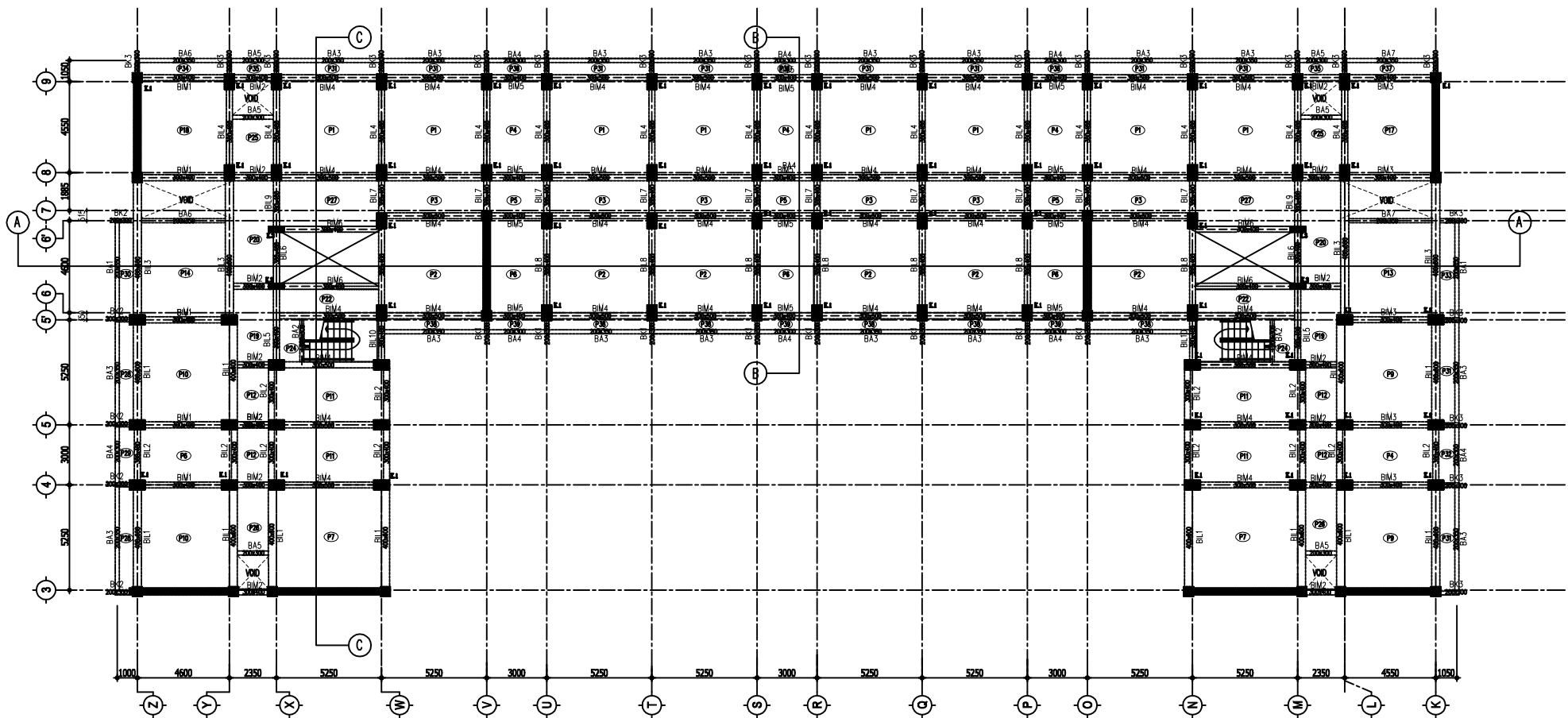
**DOSEN PEMBIMBING**  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

**NAMA MAHASISWA**  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

**PROYEK**  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

**KETERANGAN**  
Mutu Bahan  
- Baja Tui lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tui Geser fy : 240 Mpa  
- Beton fc' : 35 Mpa  
- Beton Pratekan fc' : 40 Mpa

**NO.GBR** **JML.GBR**  
**18** **47**



KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P1	5,25	4,55	0,12
P2	5,25	4,60	0,12
P3	5,25	2,40	0,12
P4	3,00	4,55	0,12
P5	3,00	2,40	0,12
P6	3,00	4,60	0,12
P7	5,25	5,25	0,12
P8	2,35	5,25	0,12
P9	4,55	5,25	0,12
P10	4,60	5,25	0,12
P11	5,25	3,00	0,12
P12	2,35	3,00	0,12
P13	4,55	4,95	0,12
P14	4,60	4,95	0,12
P15	4,55	2,40	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P16	4,60	2,40	0,12
P17	4,55	4,55	0,12
P18	4,60	4,55	0,12
P19	4,20	2,35	0,12
P20	5,40	2,35	0,12
P21	4,55	2,35	0,12
P22	1,60	5,25	0,12
P23	1,188	3,00	0,12
P24	2,775	1,264	0,12
P25	2,77	2,35	0,12
P26	3,40	2,35	0,12
P27	5,25	2,825	0,12
P28	1,00	5,25	0,12
P29	1,00	3,00	0,12
P30	1,00	4,95	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P31	1,05	5,25	0,12
P32	1,05	3,00	0,12
P33	1,05	4,95	0,12
P34	1,05	4,90	0,12
P35	1,05	2,35	0,12
P36	1,05	3,00	0,12
P37	1,05	4,55	0,12
P38	0,95	5,25	0,12
P39	0,95	3,00	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
SWX1	0,30		4,55
SWX2	0,30		5,25
SWX3	0,30		4,60
SWY1	0,30		4,55
SWY2	0,30		4,60

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
BIL1	0,40	0,60	5,25
BIL2	0,30	0,40	3,00
BIL3	0,40	0,60	7,35
BIL4	0,30	0,40	4,55
BIL5	0,30	0,40	4,20
BIL6	0,30	0,40	2,575
BIL7	0,30	0,40	2,40
BIL8	0,30	0,40	4,60
BIL9	0,30	0,40	2,825
BIL10	0,30	0,40	2,60
BIM1	0,30	0,40	4,60
BIM2	0,30	0,40	2,35
BIM3	0,30	0,40	4,55
BIM4	0,30	0,50	5,25
BIM5	0,30	0,40	3,00

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
BIM6	0,30	0,40	2,625
BA1	0,20	0,35	4,95
BA2	0,20	0,30	2,60
BA3	0,20	0,35	5,25
BA4	0,20	0,30	3,00
BA5	0,20	0,30	2,35
BA6	0,20	0,35	4,60
BA7	0,20	0,35	4,55
BP1	0,40	0,60	11,55
BP2	0,40	0,60	11,55
BK1	0,20	0,30	0,95
BK2	0,20	0,30	1,00
BK3	0,20	0,30	1,05
BB1	0,30	0,40	3,00
BB2	0,30	0,40	2,60

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
K1	0,50	0,80	3,50
K2	0,50	0,70	2,80
K3	0,25	0,80	3,50
K4	0,50	0,60	2,80
K5	0,40	0,60	2,80
K6	0,40	0,50	3,00
K7	0,40	0,40	3,00
BL	0,30	0,40	2,575

**DENAH PEMBALKAN LT. 17**  
**SKALA 1:300**



**INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

**JUDUL TUGAS**  
  
**TUGAS AKHIR**

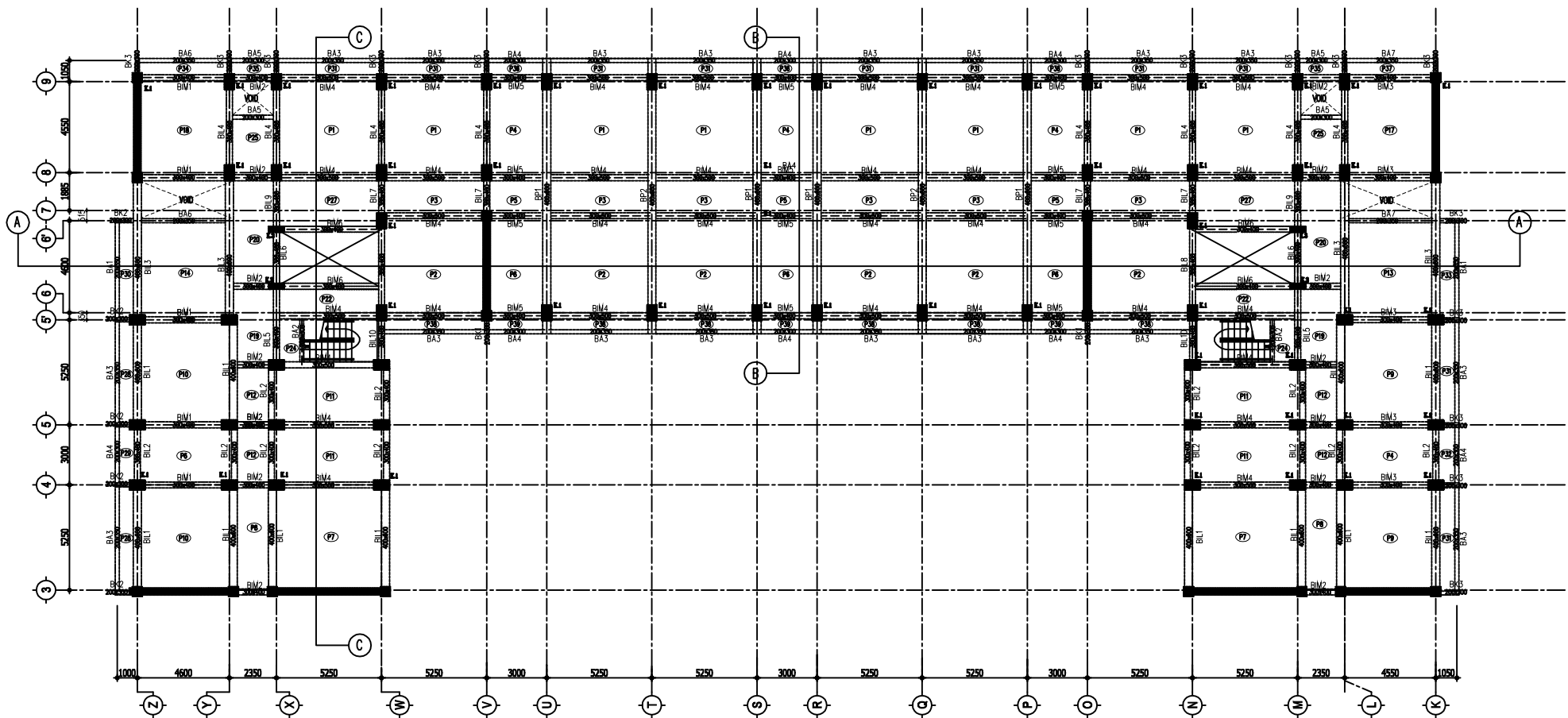
**DOSEN PEMBIMBING**  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

**NAMA MAHASISWA**  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

**PROYEK**  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

**KETERANGAN**  
Mutu Bahan  
- Baja Tui lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tui Geser fy : 240 Mpa  
- Beton fc' : 35 Mpa  
- Beton Pratekan fc' : 40 Mpa

**NO.GBR** **JML.GBR**  
**19** **47**



KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P1	5,25	4,55	0,12
P2	5,25	4,60	0,12
P3	5,25	2,40	0,12
P4	3,00	4,55	0,12
P5	3,00	2,40	0,12
P6	3,00	4,60	0,12
P7	5,25	5,25	0,12
P8	2,35	5,25	0,12
P9	4,55	5,25	0,12
P10	4,60	5,25	0,12
P11	5,25	3,00	0,12
P12	2,35	3,00	0,12
P13	4,55	4,95	0,12
P14	4,60	4,95	0,12
P15	4,55	2,40	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P16	4,60	2,40	0,12
P17	4,55	4,55	0,12
P18	4,60	4,55	0,12
P19	4,20	2,35	0,12
P20	5,40	2,35	0,12
P21	4,55	2,35	0,12
P22	1,60	5,25	0,12
P23	1,188	3,00	0,12
P24	2,775	1,264	0,12
P25	2,77	2,35	0,12
P26	3,40	2,35	0,12
P27	5,25	2,825	0,12
P28	1,00	5,25	0,12
P29	1,00	3,00	0,12
P30	1,00	4,95	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P31	1,05	5,25	0,12
P32	1,05	3,00	0,12
P33	1,05	4,95	0,12
P34	1,05	4,90	0,12
P35	1,05	2,35	0,12
P36	1,05	3,00	0,12
P37	1,05	4,55	0,12
P38	0,95	5,25	0,12
P39	0,95	3,00	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
SWX1	0,30		4,55
SWX2	0,30		5,25
SWX3	0,30		4,60
SWY1	0,30		4,55
SWY2	0,30		4,60

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
BIL1	0,40	0,60	5,25
BIL2	0,30	0,40	3,00
BIL3	0,40	0,60	7,35
BIL4	0,30	0,40	4,55
BIL5	0,30	0,40	4,20
BIL6	0,30	0,40	2,575
BIL7	0,30	0,40	2,40
BIL8	0,30	0,40	4,60
BIL9	0,30	0,40	2,825
BIL10	0,30	0,40	2,60
BIM1	0,30	0,40	4,60
BIM2	0,30	0,40	2,35
BIM3	0,30	0,40	4,55
BIM4	0,30	0,50	5,25
BIM5	0,30	0,40	3,00

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
BIM6	0,30	0,40	2,625
BA1	0,20	0,35	4,95
BA2	0,20	0,30	2,60
BA3	0,20	0,35	5,25
BA4	0,20	0,30	3,00
BA5	0,20	0,30	2,35
BA6	0,20	0,35	4,60
BA7	0,20	0,35	4,55
BP1	0,40	0,60	11,55
BP2	0,40	0,60	11,55
BK1	0,20	0,30	0,95
BK2	0,20	0,30	1,00
BK3	0,20	0,30	1,05
BB1	0,30	0,40	3,00
BB2	0,30	0,40	2,60

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
K1	0,50	0,80	3,50
K2	0,50	0,70	2,80
K3	0,25	0,80	3,50
K4	0,50	0,60	2,80
K5	0,40	0,60	2,80
K6	0,40	0,50	3,00
K7	0,40	0,40	3,00
BL	0,30	0,40	2,575

**DENAH PEMBALKAN LT. 18**  
**SKALA 1:300**



**INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

**JUDUL TUGAS**  
  
**TUGAS AKHIR**

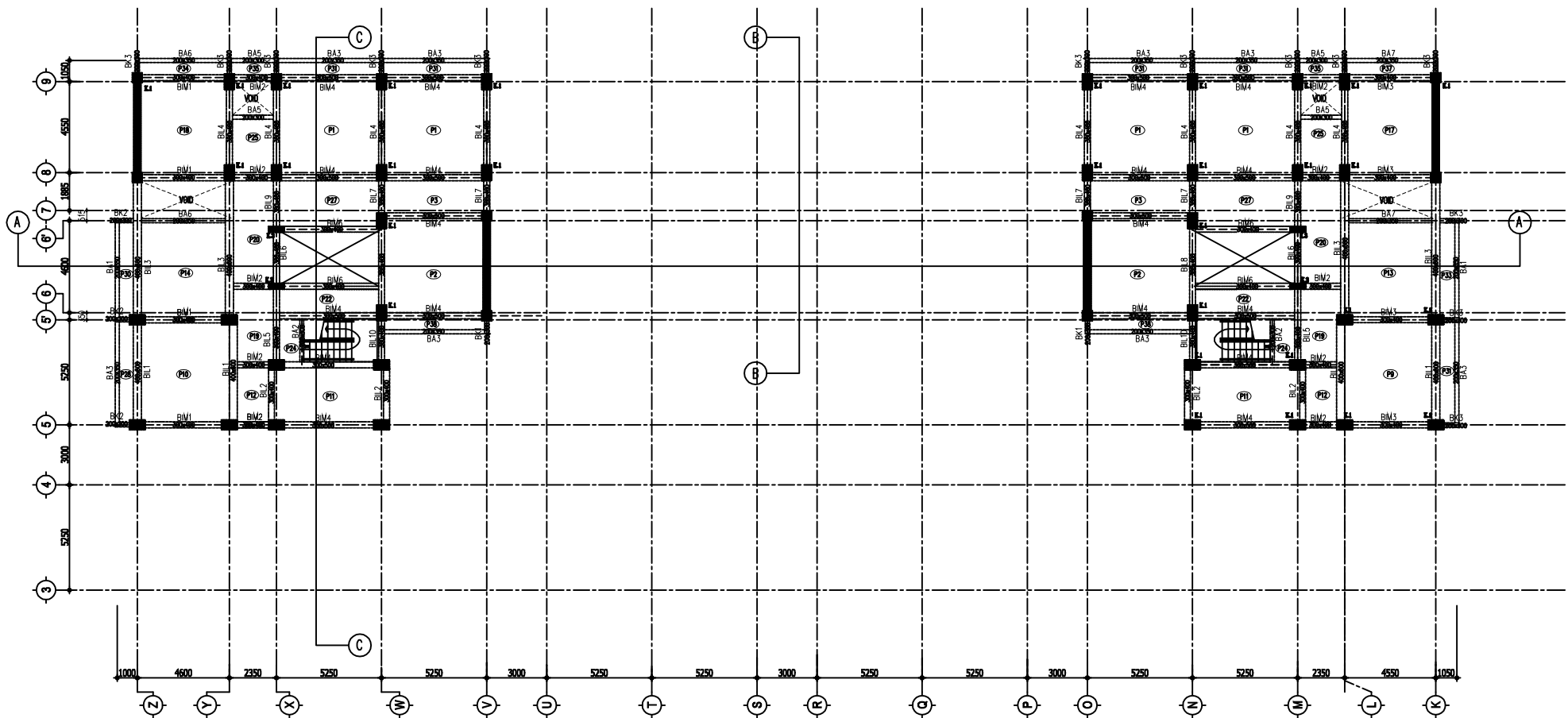
**DOSEN PEMBIMBING**  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

**NAMA MAHASISWA**  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

**PROYEK**  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

**KETERANGAN**  
Mutu Bahan  
- Baja Tui lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tui Geser fy : 240 Mpa  
- Beton fc' : 35 Mpa  
- Beton Pratekan fc' : 40 Mpa

**NO.GBR** **JML.GBR**  
**20** **47**



KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P1	5,25	4,55	0,12
P2	5,25	4,60	0,12
P3	5,25	2,40	0,12
P4	3,00	4,55	0,12
P5	3,00	2,40	0,12
P6	3,00	4,60	0,12
P7	5,25	5,25	0,12
P8	2,35	5,25	0,12
P9	4,55	5,25	0,12
P10	4,60	5,25	0,12
P11	5,25	3,00	0,12
P12	2,35	3,00	0,12
P13	4,55	4,95	0,12
P14	4,60	4,95	0,12
P15	4,55	2,40	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P16	4,60	2,40	0,12
P17	4,55	4,55	0,12
P18	4,60	4,55	0,12
P19	4,20	2,35	0,12
P20	5,40	2,35	0,12
P21	4,55	2,35	0,12
P22	1,60	5,25	0,12
P23	1,188	3,00	0,12
P24	2,775	1,264	0,12
P25	2,77	2,35	0,12
P26	3,40	2,35	0,12
P27	5,25	2,825	0,12
P28	1,00	5,25	0,12
P29	1,00	3,00	0,12
P30	1,00	4,95	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P31	1,05	5,25	0,12
P32	1,05	3,00	0,12
P33	1,05	4,95	0,12
P34	1,05	4,90	0,12
P35	1,05	2,35	0,12
P36	1,05	3,00	0,12
P37	1,05	4,55	0,12
P38	0,95	5,25	0,12
P39	0,95	3,00	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
SWX1	0,30	4,55	
SWX2	0,30	5,25	
SWX3	0,30	4,60	
SWY1	0,30	4,55	
SWY2	0,30	4,60	

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
BIL1	0,40	0,60	5,25
BIL2	0,30	0,40	3,00
BIL3	0,40	0,60	7,35
BIL4	0,30	0,40	4,55
BIL5	0,30	0,40	4,20
BIL6	0,30	0,40	2,575
BIL7	0,30	0,40	2,40
BIL8	0,30	0,40	4,60
BIL9	0,30	0,40	2,825
BIL10	0,30	0,40	2,60
BIM1	0,30	0,40	4,60
BIM2	0,30	0,40	2,35
BIM3	0,30	0,40	4,55
BIM4	0,30	0,50	5,25
BIM5	0,30	0,40	3,00

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
BIM6	0,30	0,40	2,625
BA1	0,20	0,35	4,95
BA2	0,20	0,30	2,60
BA3	0,20	0,35	5,25
BA4	0,20	0,30	3,00
BA5	0,20	0,30	2,35
BA6	0,20	0,35	4,60
BA7	0,20	0,35	4,55
BP1	0,40	0,60	11,55
BP2	0,40	0,60	11,55
BK1	0,20	0,30	0,95
BK2	0,20	0,30	1,00
BK3	0,20	0,30	1,05
BB1	0,30	0,40	3,00
BB2	0,30	0,40	2,60

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
K1	0,50	0,80	3,50
K2	0,50	0,70	2,80
K3	0,25	0,80	3,50
K4	0,50	0,60	2,80
K5	0,40	0,60	2,80
K6	0,40	0,50	3,00
K7	0,40	0,40	3,00
BL	0,30	0,40	2,575

**DENAH PEMBALOKAN LT. 19-20**  
**SKALA 1:300**



**INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

**JUDUL TUGAS**  
  
**TUGAS AKHIR**

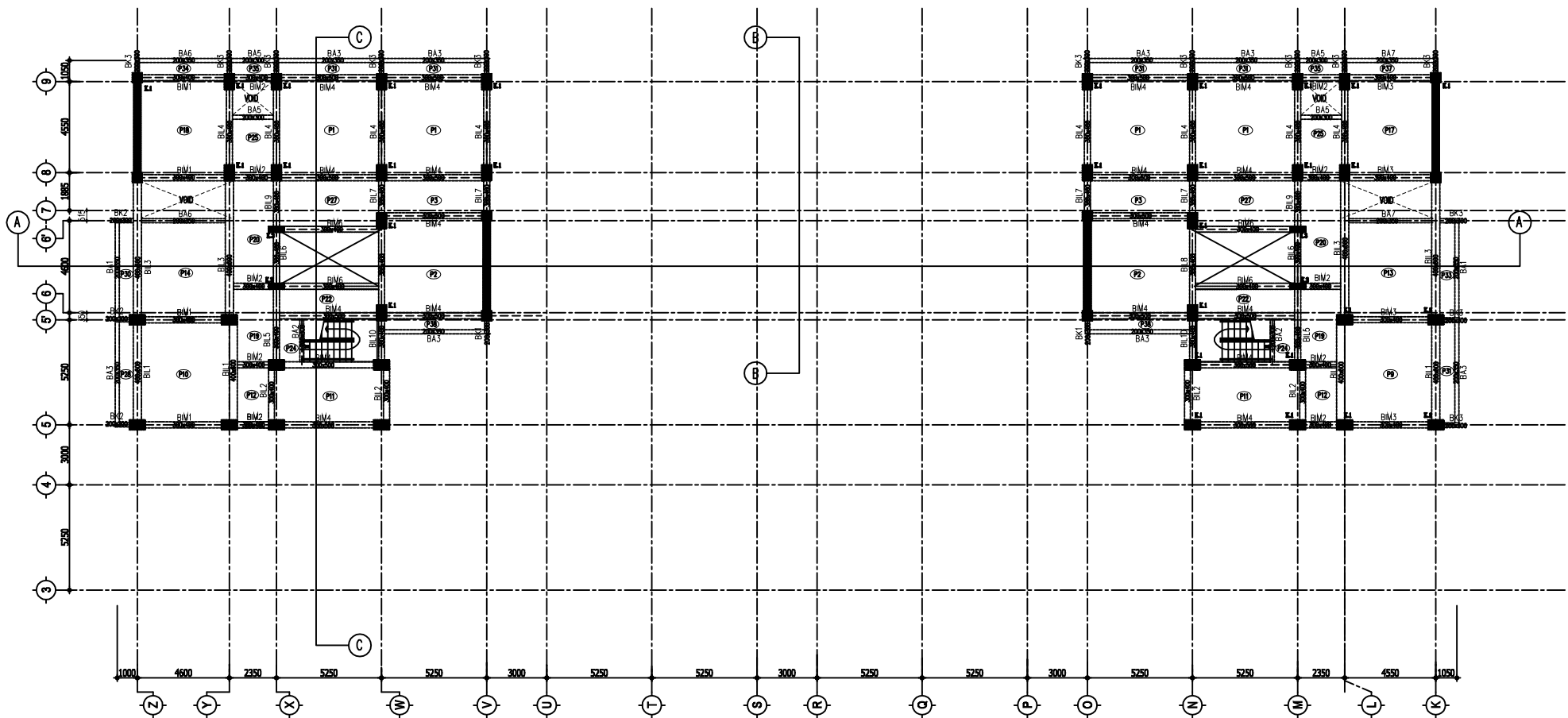
**DOSEN PEMBIMBING**  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

**NAMA MAHASISWA**  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

**PROYEK**  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

**KETERANGAN**  
Mutu Bahan  
- Baja Tuli lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tuli Geser fy : 240 Mpa  
- Beton fc' : 35 Mpa  
- Beton Pratekan fc' : 40 Mpa

**NO.GBR** **JML.GBR**  
21 47



KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P1	5,25	4,55	0,12
P2	5,25	4,60	0,12
P3	5,25	2,40	0,12
P4	3,00	4,55	0,12
P5	3,00	2,40	0,12
P6	3,00	4,60	0,12
P7	5,25	5,25	0,12
P8	2,35	5,25	0,12
P9	4,55	5,25	0,12
P10	4,60	5,25	0,12
P11	5,25	3,00	0,12
P12	2,35	3,00	0,12
P13	4,55	4,95	0,12
P14	4,60	4,95	0,12
P15	4,55	2,40	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P16	4,60	2,40	0,12
P17	4,55	4,55	0,12
P18	4,60	4,55	0,12
P19	4,20	2,35	0,12
P20	5,40	2,35	0,12
P21	4,55	2,35	0,12
P22	1,60	5,25	0,12
P23	1,188	3,00	0,12
P24	2,775	1,264	0,12
P25	2,77	2,35	0,12
P26	3,40	2,35	0,12
P27	5,25	2,825	0,12
P28	1,00	5,25	0,12
P29	1,00	3,00	0,12
P30	1,00	4,95	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P31	1,05	5,25	0,12
P32	1,05	3,00	0,12
P33	1,05	4,95	0,12
P34	1,05	4,90	0,12
P35	1,05	2,35	0,12
P36	1,05	3,00	0,12
P37	1,05	4,55	0,12
P38	0,95	5,25	0,12
P39	0,95	3,00	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
SWX1	0,30	4,55	
SWX2	0,30	5,25	
SWX3	0,30	4,60	
SWY1	0,30	4,55	
SWY2	0,30	4,60	

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
BIL1	0,40	0,60	5,25
BIL2	0,30	0,40	3,00
BIL3	0,40	0,60	7,35
BIL4	0,30	0,40	4,55
BIL5	0,30	0,40	4,20
BIL6	0,30	0,40	2,575
BIL7	0,30	0,40	2,40
BIL8	0,30	0,40	4,60
BIL9	0,30	0,40	2,825
BIL10	0,30	0,40	2,60
BIM1	0,30	0,40	4,60
BIM2	0,30	0,40	2,35
BIM3	0,30	0,40	4,55
BIM4	0,30	0,50	5,25
BIM5	0,30	0,40	3,00

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
BIM6	0,30	0,40	2,625
BA1	0,20	0,35	4,95
BA2	0,20	0,30	2,60
BA3	0,20	0,35	5,25
BA4	0,20	0,30	3,00
BA5	0,20	0,30	2,35
BA6	0,20	0,35	4,60
BA7	0,20	0,35	4,55
BP1	0,40	0,60	11,55
BP2	0,40	0,60	11,55
BK1	0,20	0,30	0,95
BK2	0,20	0,30	1,00
BK3	0,20	0,30	1,05
BB1	0,30	0,40	3,00
BB2	0,30	0,40	2,60

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
K1	0,50	0,80	3,50
K2	0,50	0,70	2,80
K3	0,25	0,80	3,50
K4	0,50	0,60	2,80
K5	0,40	0,60	2,80
K6	0,40	0,50	3,00
K7	0,40	0,40	3,00
BL	0,30	0,40	2,575

**DENAH PEMBALOKAN LT. 19-20**  
**SKALA 1:300**



**INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

**JUDUL TUGAS**  
**TUGAS AKHIR**

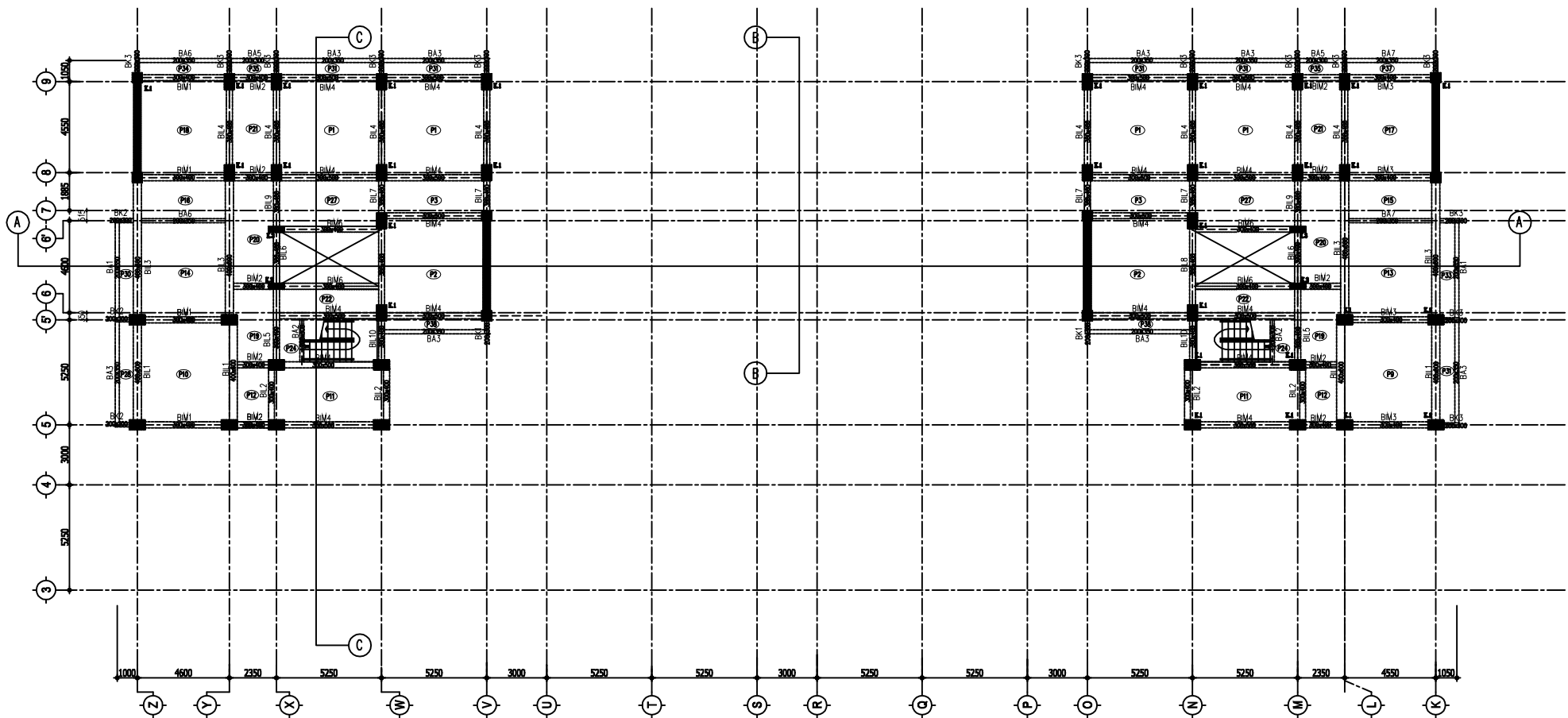
**DOSEN PEMBIMBING**  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

**NAMA MAHASISWA**  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

**PROYEK**  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

**KETERANGAN**  
Mutu Bahan  
- Baja Tui lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tui Geser fy : 240 Mpa  
- Beton fc' : 35 Mpa  
- Beton Pratekan fc' : 40 Mpa

**NO.GBR** 22  
**JML.GBR** 47



KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P1	5,25	4,55	0,12
P2	5,25	4,60	0,12
P3	5,25	2,40	0,12
P4	3,00	4,55	0,12
P5	3,00	2,40	0,12
P6	3,00	4,60	0,12
P7	5,25	5,25	0,12
P8	2,35	5,25	0,12
P9	4,55	5,25	0,12
P10	4,60	5,25	0,12
P11	5,25	3,00	0,12
P12	2,35	3,00	0,12
P13	4,55	4,95	0,12
P14	4,60	4,95	0,12
P15	4,55	2,40	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P16	4,60	2,40	0,12
P17	4,55	4,55	0,12
P18	4,60	4,55	0,12
P19	4,20	2,35	0,12
P20	5,40	2,35	0,12
P21	4,55	2,35	0,12
P22	1,60	5,25	0,12
P23	1,188	3,00	0,12
P24	2,775	1,264	0,12
P25	2,77	2,35	0,12
P26	3,40	2,35	0,12
P27	5,25	2,825	0,12
P28	1,00	5,25	0,12
P29	1,00	3,00	0,12
P30	1,00	4,95	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P31	1,05	5,25	0,12
P32	1,05	3,00	0,12
P33	1,05	4,95	0,12
P34	1,05	4,90	0,12
P35	1,05	2,35	0,12
P36	1,05	3,00	0,12
P37	1,05	4,55	0,12
P38	0,95	5,25	0,12
P39	0,95	3,00	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
SWX1	0,30	4,55	
SWX2	0,30	5,25	
SWX3	0,30	4,60	
SWY1	0,30	4,55	
SWY2	0,30	4,60	

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
BIL1	0,40	0,60	5,25
BIL2	0,30	0,40	3,00
BIL3	0,40	0,60	7,35
BIL4	0,30	0,40	4,55
BIL5	0,30	0,40	4,20
BIL6	0,30	0,40	2,575
BIL7	0,30	0,40	2,40
BIL8	0,30	0,40	4,60
BIL9	0,30	0,40	2,825
BIL10	0,30	0,40	2,60
BIM1	0,30	0,40	4,60
BIM2	0,30	0,40	2,35
BIM3	0,30	0,40	4,55
BIM4	0,30	0,50	5,25
BIM5	0,30	0,40	3,00

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
BIM6	0,30	0,40	2,625
BA1	0,20	0,35	4,95
BA2	0,20	0,30	2,60
BA3	0,20	0,35	5,25
BA4	0,20	0,30	3,00
BA5	0,20	0,30	2,35
BA6	0,20	0,35	4,60
BA7	0,20	0,35	4,55
BP1	0,40	0,60	11,55
BP2	0,40	0,60	11,55
BK1	0,20	0,30	0,95
BK2	0,20	0,30	1,00
BK3	0,20	0,30	1,05
BB1	0,30	0,40	3,00
BB2	0,30	0,40	2,60

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
K1	0,50	0,80	3,50
K2	0,50	0,70	2,80
K3	0,25	0,80	3,50
K4	0,50	0,60	2,80
K5	0,40	0,60	2,80
K6	0,40	0,50	3,00
K7	0,40	0,40	3,00
BL	0,30	0,40	2,575

## DENAH PEMBALOKAN LT. ATAP

SKALA 1:300



**INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
**TUGAS AKHIR**

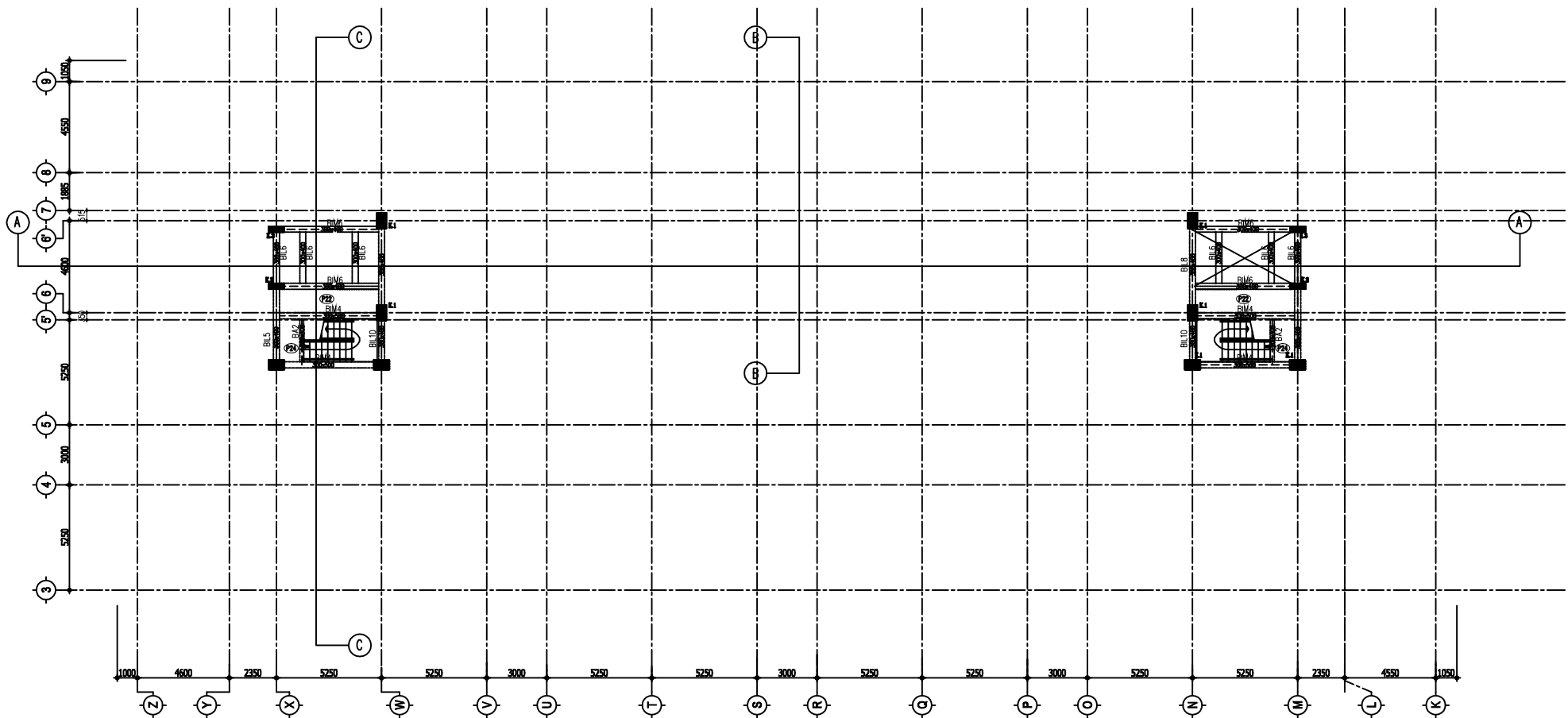
DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tui lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tui Geser fy : 240 Mpa  
- Beton fc' : 35 Mpa  
- Beton Pratekan fc' : 40 Mpa

NO.GBR  
**23**  
JML.GBR  
**47**



KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P1	5,25	4,55	0,12
P2	5,25	4,60	0,12
P3	5,25	2,40	0,12
P4	3,00	4,55	0,12
P5	3,00	2,40	0,12
P6	3,00	4,60	0,12
P7	5,25	5,25	0,12
P8	2,35	5,25	0,12
P9	4,55	5,25	0,12
P10	4,60	5,25	0,12
P11	5,25	3,00	0,12
P12	2,35	3,00	0,12
P13	4,55	4,95	0,12
P14	4,60	4,95	0,12
P15	4,55	2,40	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P16	4,60	2,40	0,12
P17	4,55	4,55	0,12
P18	4,60	4,55	0,12
P19	4,20	2,35	0,12
P20	5,40	2,35	0,12
P21	4,55	2,35	0,12
P22	1,60	5,25	0,12
P23	1,188	3,00	0,12
P24	2,775	1,264	0,12
P25	2,77	2,35	0,12
P26	3,40	2,35	0,12
P27	5,25	2,825	0,12
P28	1,00	5,25	0,12
P29	1,00	3,00	0,12
P30	1,00	4,95	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
P31	1,05	5,25	0,12
P32	1,05	3,00	0,12
P33	1,05	4,95	0,12
P34	1,05	4,90	0,12
P35	1,05	2,35	0,12
P36	1,05	3,00	0,12
P37	1,05	4,55	0,12
P38	0,95	5,25	0,12
P39	0,95	3,00	0,12

KODE	P(m)	L(m)	t(m)
SWX1	0,30		4,55
SWX2	0,30		5,25
SWX3	0,30		4,60
SWY1	0,30		4,55
SWY2	0,30		4,60

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
BIL1	0,40	0,60	5,25
BIL2	0,30	0,40	3,00
BIL3	0,40	0,60	7,35
BIL4	0,30	0,40	4,55
BIL5	0,30	0,40	4,20
BIL6	0,30	0,40	2,575
BIL7	0,30	0,40	2,40
BIL8	0,30	0,40	4,60
BIL9	0,30	0,40	2,825
BIL10	0,30	0,40	2,60
BIM1	0,30	0,40	4,60
BIM2	0,30	0,40	2,35
BIM3	0,30	0,40	4,55
BIM4	0,30	0,50	5,25
BIM5	0,30	0,40	3,00

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
BIM6	0,30	0,40	2,625
BA1	0,20	0,35	4,95
BA2	0,20	0,30	2,60
BA3	0,20	0,35	5,25
BA4	0,20	0,30	3,00
BA5	0,20	0,30	2,35
BA6	0,20	0,35	4,60
BA7	0,20	0,35	4,55
BP1	0,40	0,60	11,55
BP2	0,40	0,60	11,55
BK1	0,20	0,30	0,95
BK2	0,20	0,30	1,00
BK3	0,20	0,30	1,05
BB1	0,30	0,40	3,00
BIM2	0,30	0,40	2,60

KODE	b(m)	h(m)	L(m)
K1	0,50	0,80	3,50
K2	0,50	0,70	2,80
K3	0,25	0,80	3,50
K4	0,50	0,60	2,80
K5	0,40	0,60	2,80
K6	0,40	0,50	3,00
K7	0,40	0,40	3,00
BL	0,30	0,40	2,575

**DENAH PEMBALOKAN LT. ATAP  
LIFT  
SKALA 1:300**



**INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

**JUDUL TUGAS**  
  
**TUGAS AKHIR**

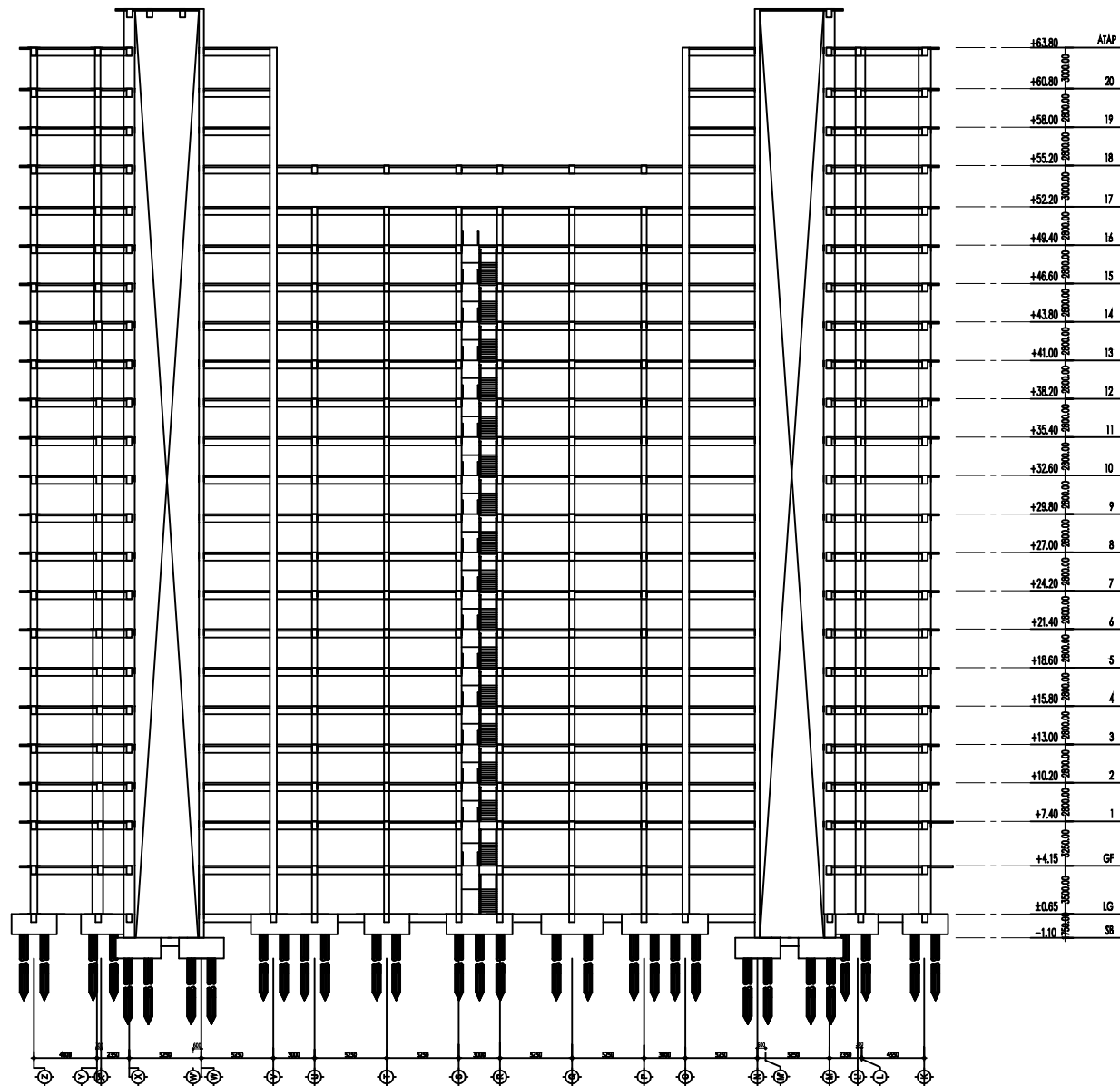
**DOSEN PEMBIMBING**  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

**NAMA MAHASISWA**  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

**PROYEK**  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

**KETERANGAN**  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Beton fc' : 35 Mpa  
- Beton Pratekan fc' : 40 Mpa

**NO.GBR** **JML.GBR**  
24 47



**POTONGAN A-A**  
**SKALA 1:500**



**INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

**JUDUL TUGAS**  
  
**TUGAS AKHIR**

**DOSEN PEMBIMBING**  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

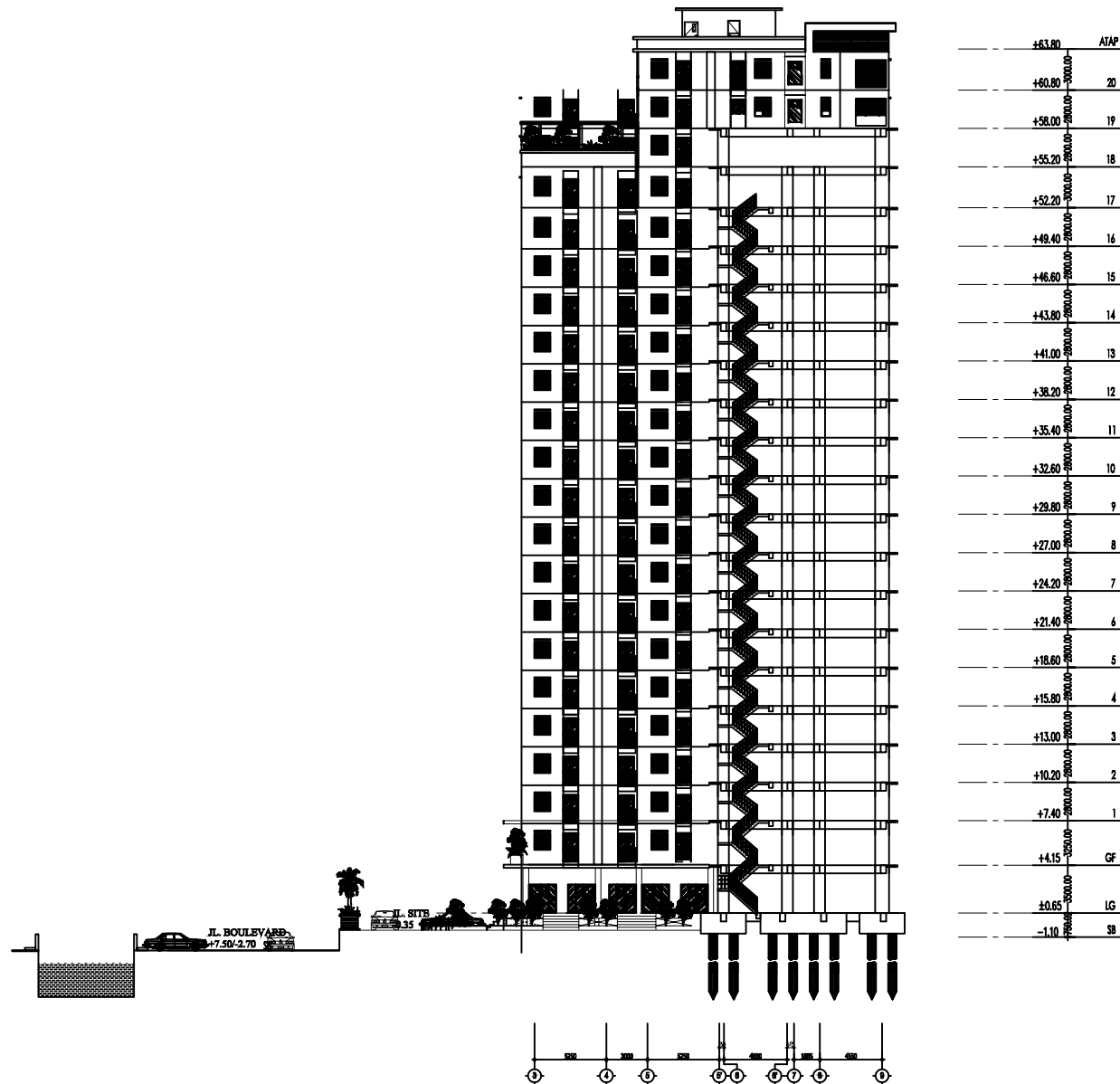
**NAMA MAHASISWA**  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

**PROYEK**  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI


**KETERANGAN**  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
- Beton  $f_c'$  : 35 Mpa  
- Beton Pratekan  $f_c'$  : 40 Mpa

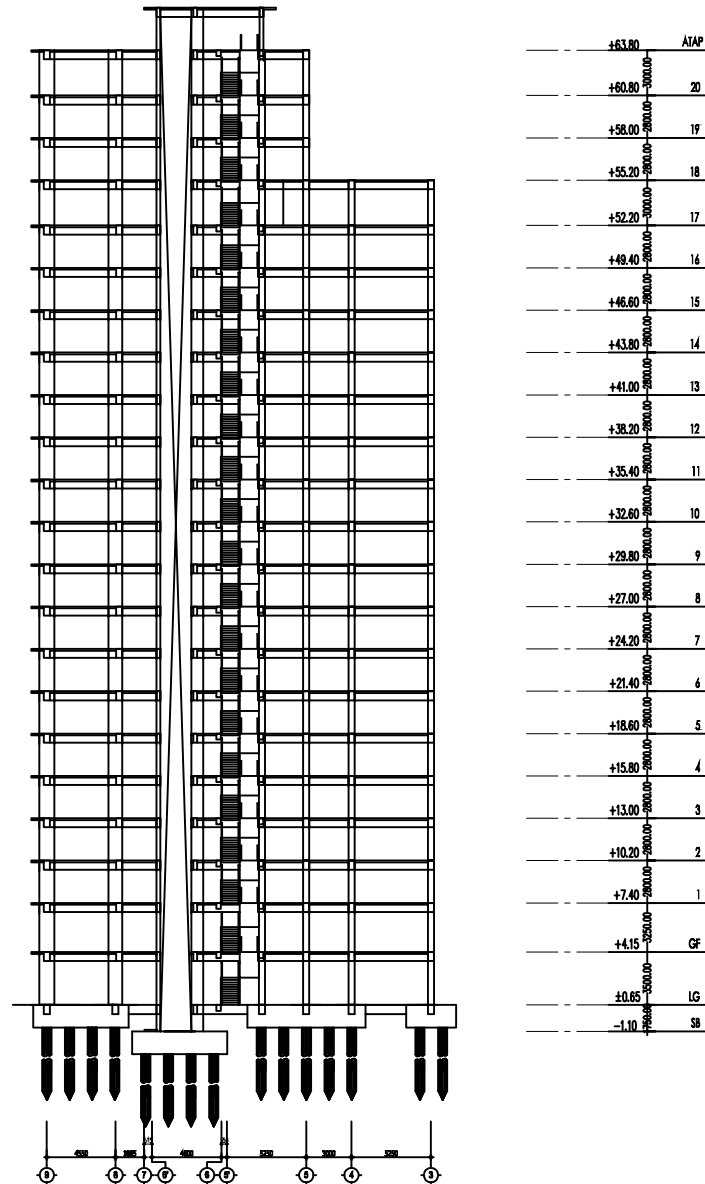
**NO.GBR** 25  
**JML.GBR** 47





**POTONGAN B-B**  
SKALA 1:500

 <p>INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL</p>	JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA MAHASISWA	PROYEK	KETERANGAN	NO.GBR	JML.GBR
	TUGAS AKHIR	Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D. NIP. 197002011995122001 Dr. Ir. Djoko Irawan, MS NIP. 195902131987011001	Yogi Dwi Hakiki Putra NRP. 03111645000022	APARTEMEN LAGOON RESORT BEKASI	Mutu Bahan - Baja Tul lentur fy : 400 Mpa - Baja Tul Geser fy : 240 Mpa - Beton fc' : 35 Mpa - Beton Pratekan fc' : 40 Mpa	26	47

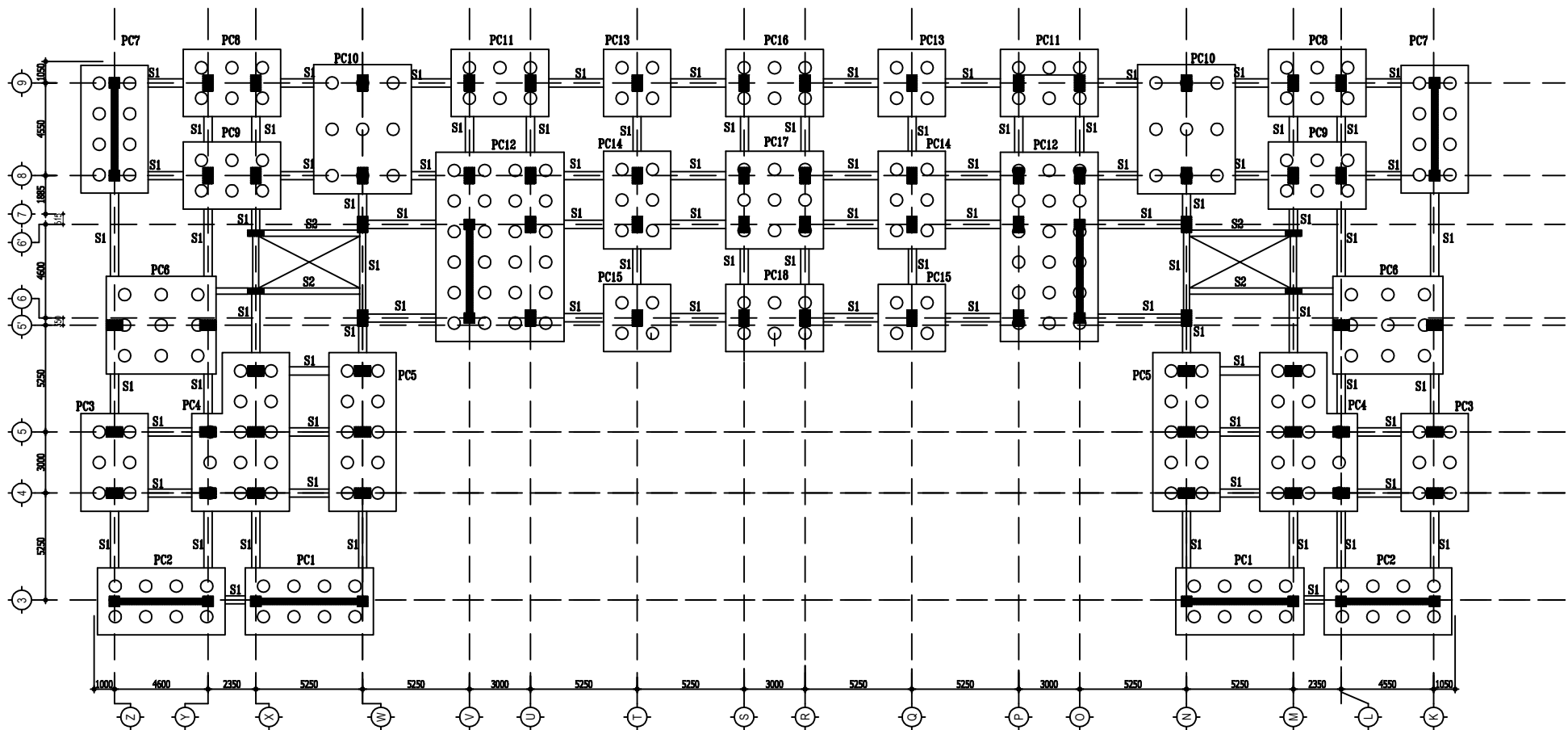


**POTONGAN C-C**  
**SKALA 1:500**



**INSTITUT TEKNOLOGI  
 SEPULUH NOPEMBER**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
 KEBUMIHAN  
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA MAHASISWA	PROYEK	KETERANGAN	NO.GBR	JML.GBR
TUGAS AKHIR	Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D. NIP. 197002011995122001 Dr. Ir. Djoko Irawan, MS NIP. 195902131987011001	Yogi Dwi Hakiki Putra NRP. 03111645000022	APARTEMEN LAGOON RESORT BEKASI	Mutu Bahan - Baja Tul lentur fy : 400 Mpa - Baja Tul Geser fy : 240 Mpa - Beton fc' : 35 Mpa - Beton Pratekan fc' : 40 Mpa	27	47



KODE	P(m)	L(m)	t(m)	L tiang(m)	D tiang(m)
PC1	6,30	3,30	1,00	17,00	0,60
PC2	6,30	3,30	1,00	17,00	0,60
PC3	3,30	4,80	1,00	17,00	0,60
PC4	4,80	7,80	1,00	25,00	0,60
PC5	3,30	7,80	1,00	17,00	0,60
PC6	5,40	4,80	1,00	17,00	0,60
PC7	3,30	6,30	1,00	25,00	0,60
PC8	4,80	3,30	1,00	17,00	0,60
PC9	4,80	3,30	1,00	17,00	0,60
PC10	4,80	6,30	1,00	17,00	0,60
PC11	4,80	3,30	1,00	17,00	0,60
PC12	6,30	9,30	1,00	22,00	0,60
PC13	3,30	3,30	1,00	17,00	0,60
PC14	3,30	4,80	1,00	17,00	0,60
PC15	3,30	3,30	1,00	17,00	0,60

KODE	P(m)	L(m)	t(m)	L tiang(m)	D tiang(m)
PC16	4,80	3,30	1,00	17,00	0,60
PC17	4,80	4,80	1,00	19,00	0,60
PC18	4,80	3,30	1,00	17,00	0,60
PC19	3,30	4,80	1,00	17,00	0,60
PC20	3,30	6,30	1,00	17,00	0,60

KODE	b(m)	h(m)
S1	0,40	0,60
S2	0,30	0,60

**DENAH PONDASI**  
SKALA 1:300



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
  
TUGAS AKHIR

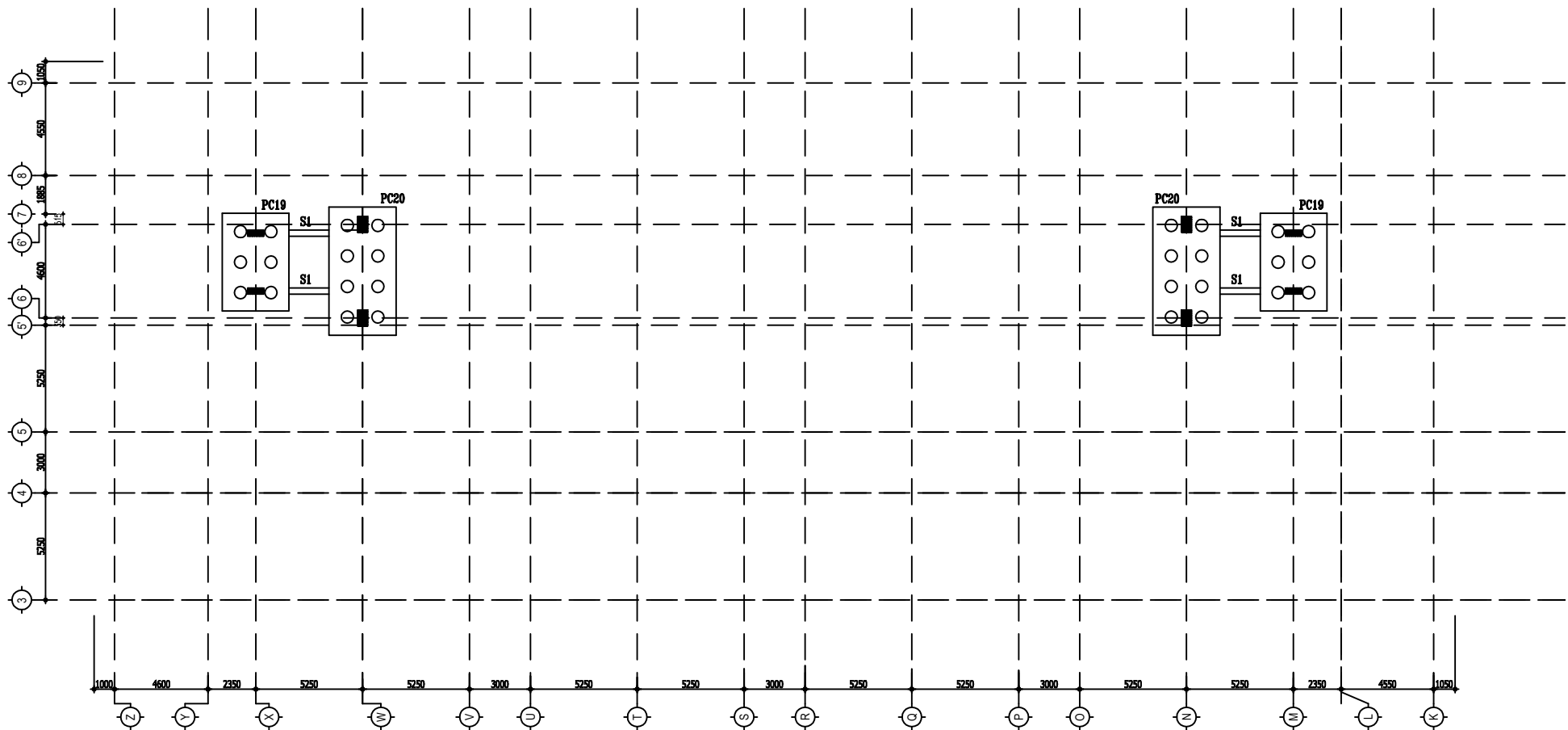
DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS.  
NIP. 195902131987011001

NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Beton fc' : 35 Mpa  
- Beton Pratekan fc' : 40 Mpa

NO.GBR  
28  
JML.GBR  
47



KODE	P(m)	L(m)	t(m)	L tiang(m)	D tiang(m)
PC1	6,30	3,30	1,00	17,00	0,60
PC2	6,30	3,30	1,00	17,00	0,60
PC3	3,30	4,80	1,00	17,00	0,60
PC4	4,80	7,80	1,00	25,00	0,60
PC5	3,30	7,80	1,00	17,00	0,60
PC6	5,40	4,80	1,00	17,00	0,60
PC7	3,30	6,30	1,00	25,00	0,60
PC8	4,80	3,30	1,00	17,00	0,60
PC9	4,80	3,30	1,00	17,00	0,60
PC10	4,80	6,30	1,00	17,00	0,60
PC11	4,80	3,30	1,00	17,00	0,60
PC12	6,30	9,30	1,00	22,00	0,60
PC13	3,30	3,30	1,00	17,00	0,60
PC14	3,30	4,80	1,00	17,00	0,60
PC15	3,30	3,30	1,00	17,00	0,60

KODE	P(m)	L(m)	t(m)	L tiang(m)	D tiang(m)
PC16	4,80	3,30	1,00	17,00	0,60
PC17	4,80	4,80	1,00	19,00	0,60
PC18	4,80	3,30	1,00	17,00	0,60
PC19	3,30	4,80	1,00	17,00	0,60
PC20	3,30	6,30	1,00	17,00	0,60

KODE	b(m)	h(m)
S1	0,40	0,60
S2	0,30	0,60

## DENAH PONDASI

SKALA 1:300



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
  
TUGAS AKHIR

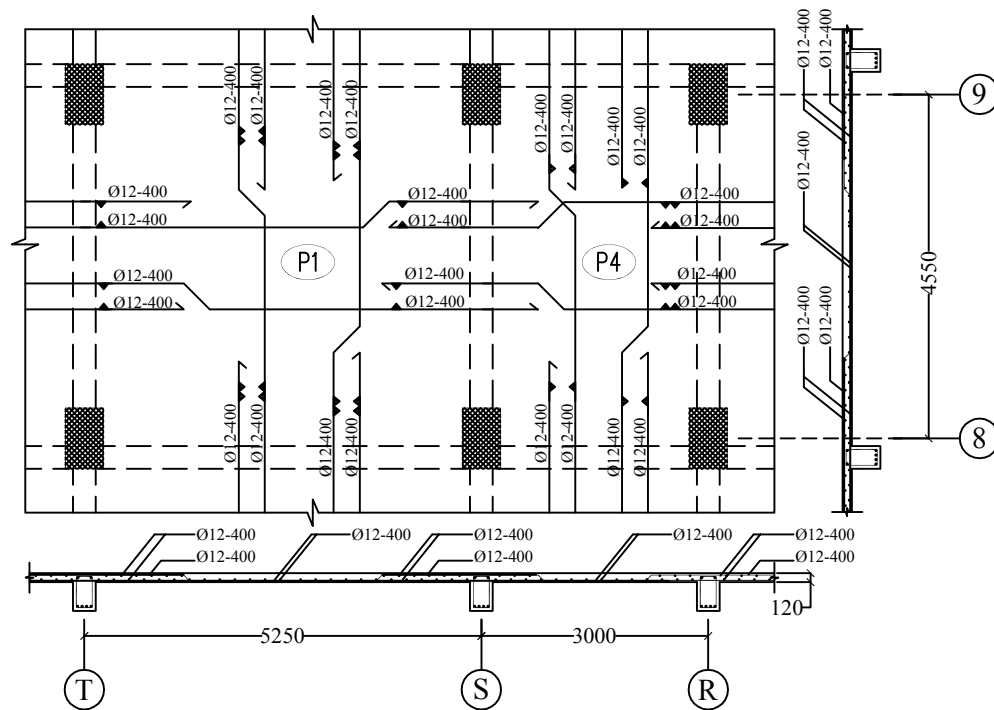
DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS.  
NIP. 195902131987011001

NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

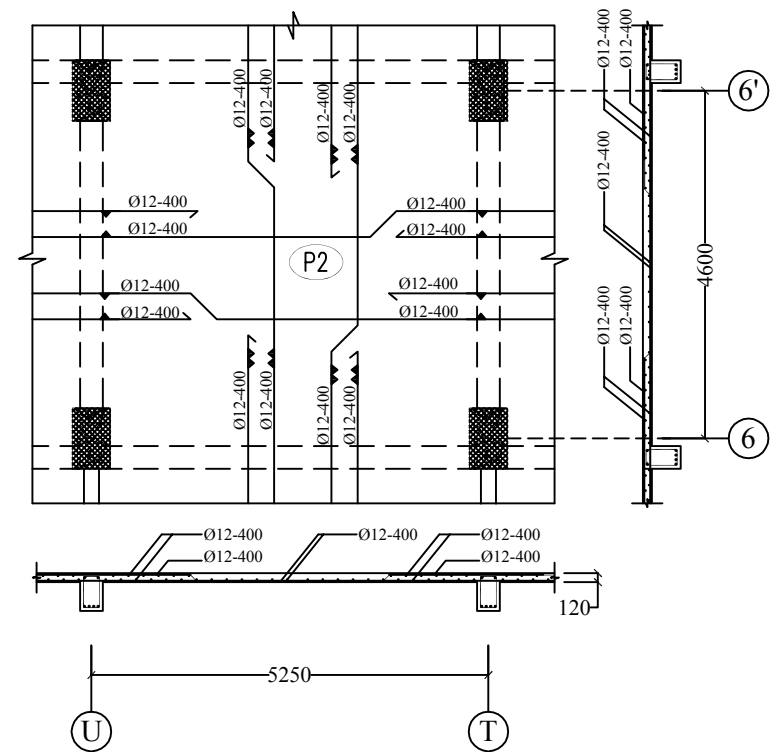
PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
- Beton  $f_c'$  : 35 Mpa  
- Beton Pratekan  $f_c'$  : 40 Mpa

NO.GBR  
29  
JML.GBR  
47



**DETAL PENULANGAN PELAT P1 DAN P4**  
SKALA 1:100



**DETAL PENULANGAN PELAT P2**  
SKALA 1:100



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
  
TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

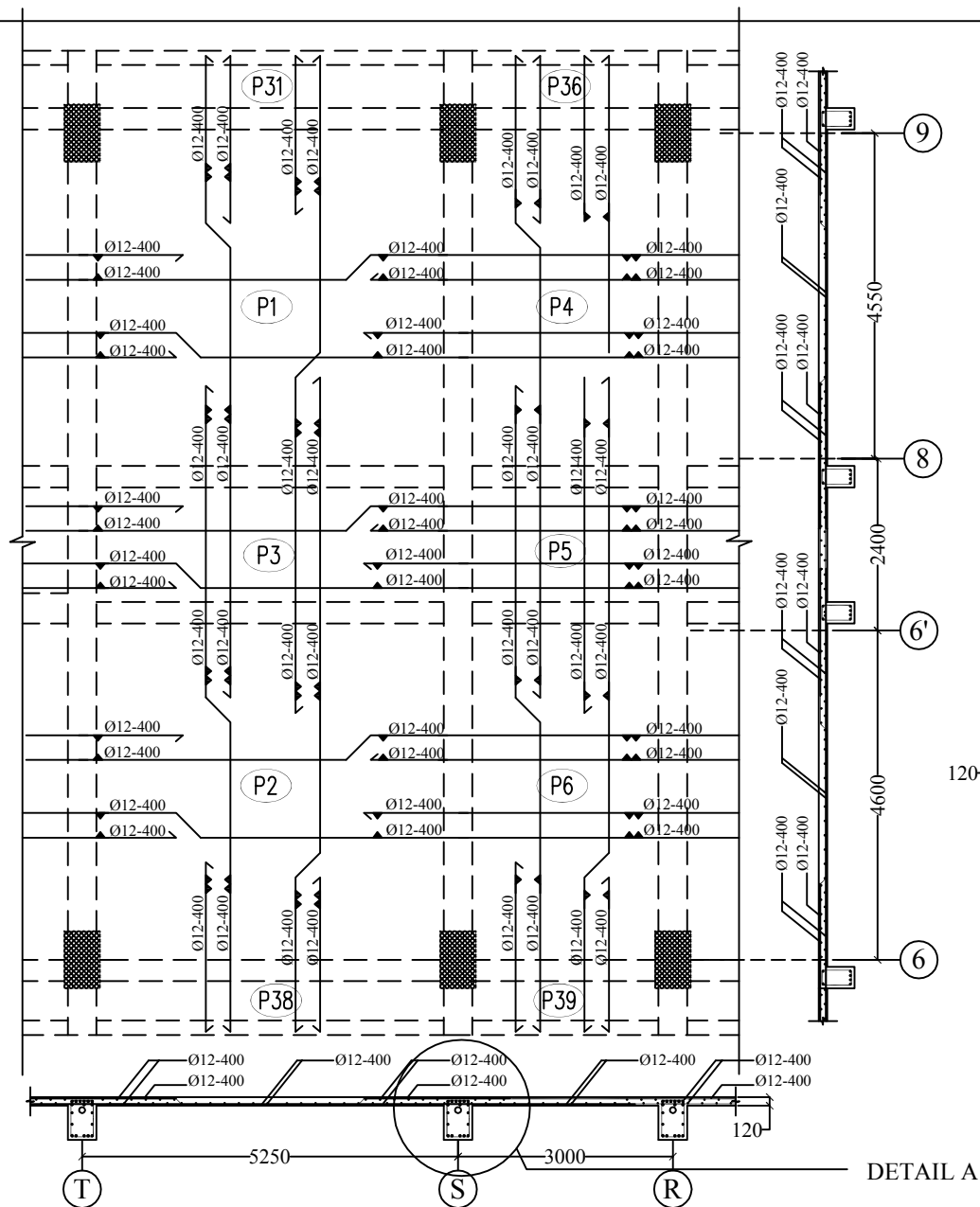
NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

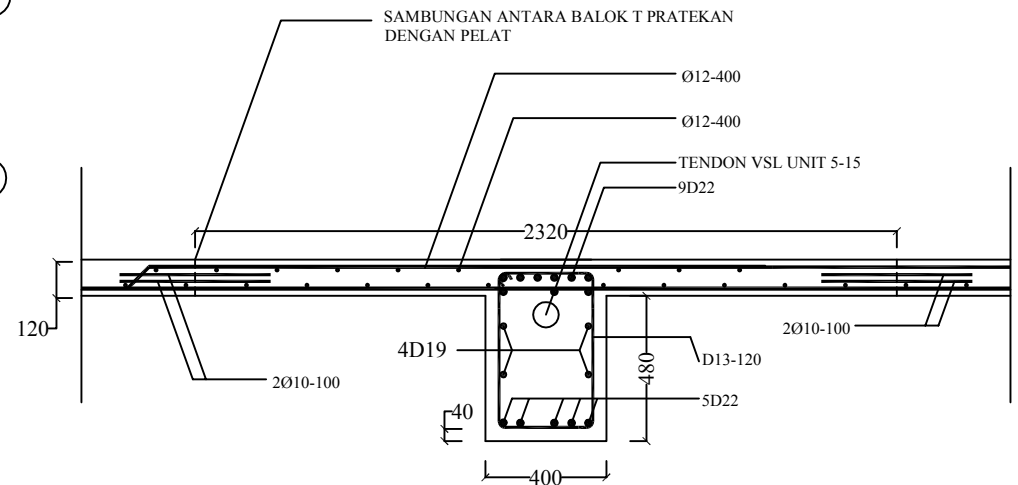
KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
- Beton  $f_c'$  : 35 Mpa  
- Beton Pratekan  $f_c'$  : 40 Mpa

NO.GBR  
30

JML.GBR  
47



**DETAL PENULANGAN PELAT ANTARA BALOK PRATEKAN**  
SKALA 1:100



**DETAIL A (POTONGAN PELAT)**  
SKALA 1:25



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
  
TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

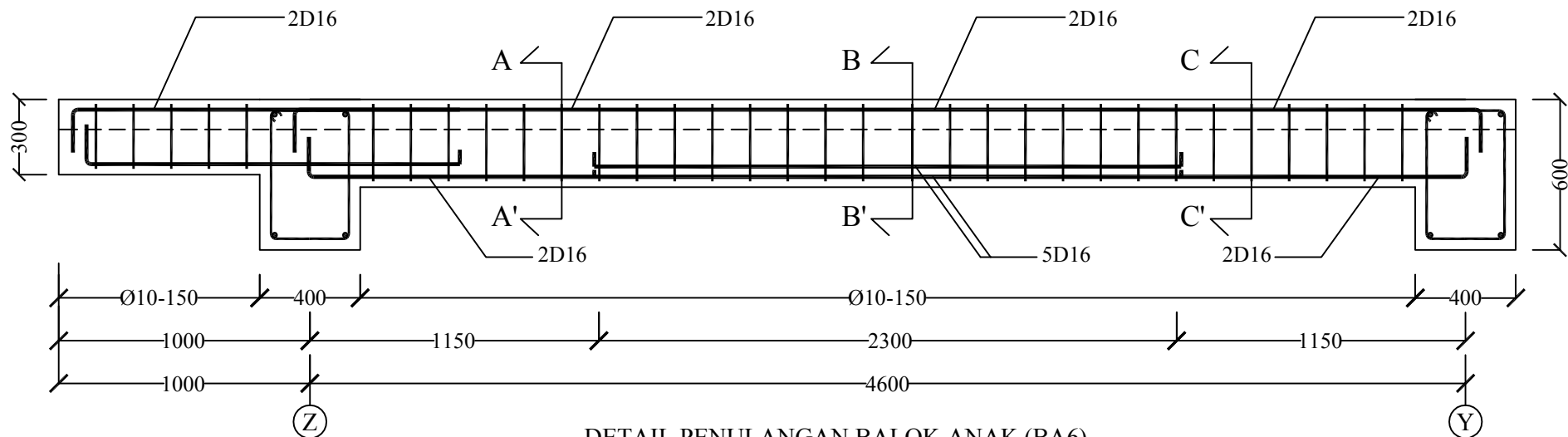
NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

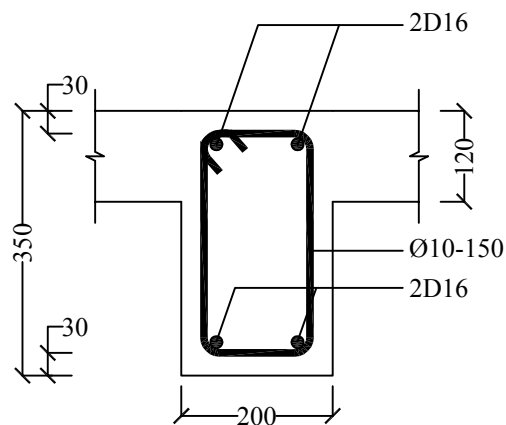
KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
- Beton  $f_c'$  : 35 Mpa  
- Beton Pratekan  $f_c'$  : 40 Mpa

NO.GBR  
31

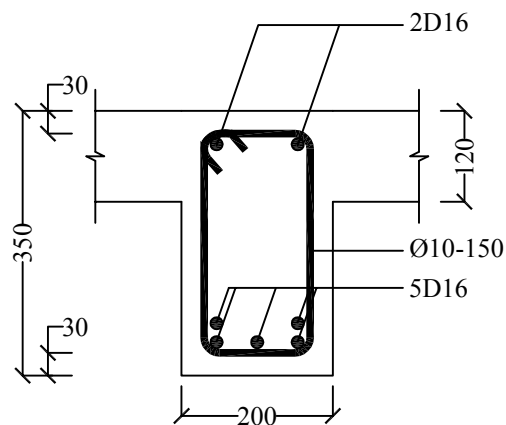
JML.GBR  
47



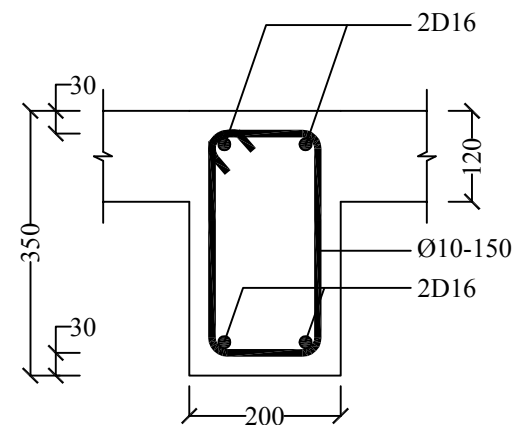
**DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK (BA6)**  
SKALA 1:25



**POTONGAN A-A'**  
SKALA 1:10



**POTONGAN B-B'**  
SKALA 1:10



**POTONGAN C-C'**  
SKALA 1:10



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
**TUGAS AKHIR**

DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

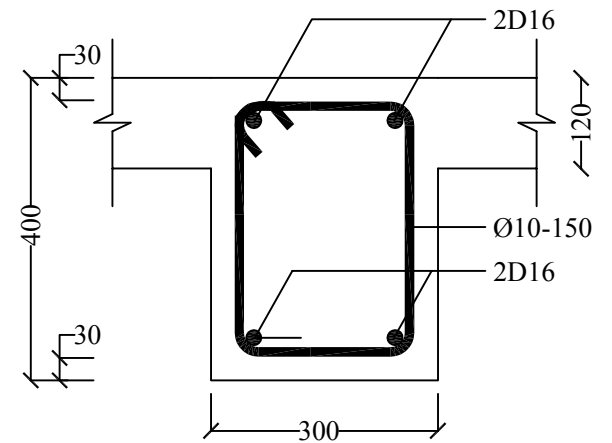
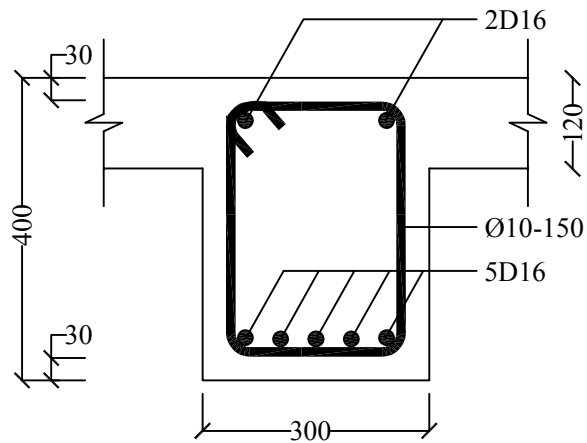
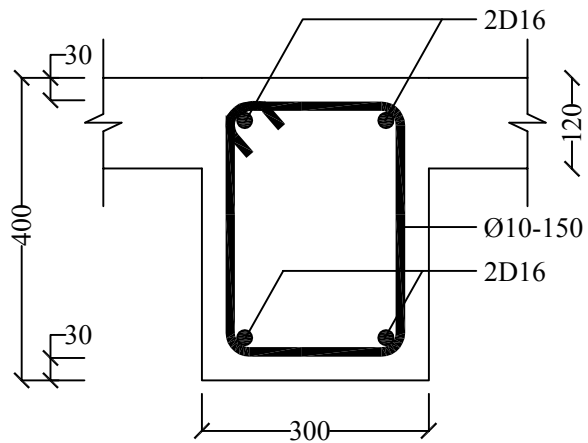
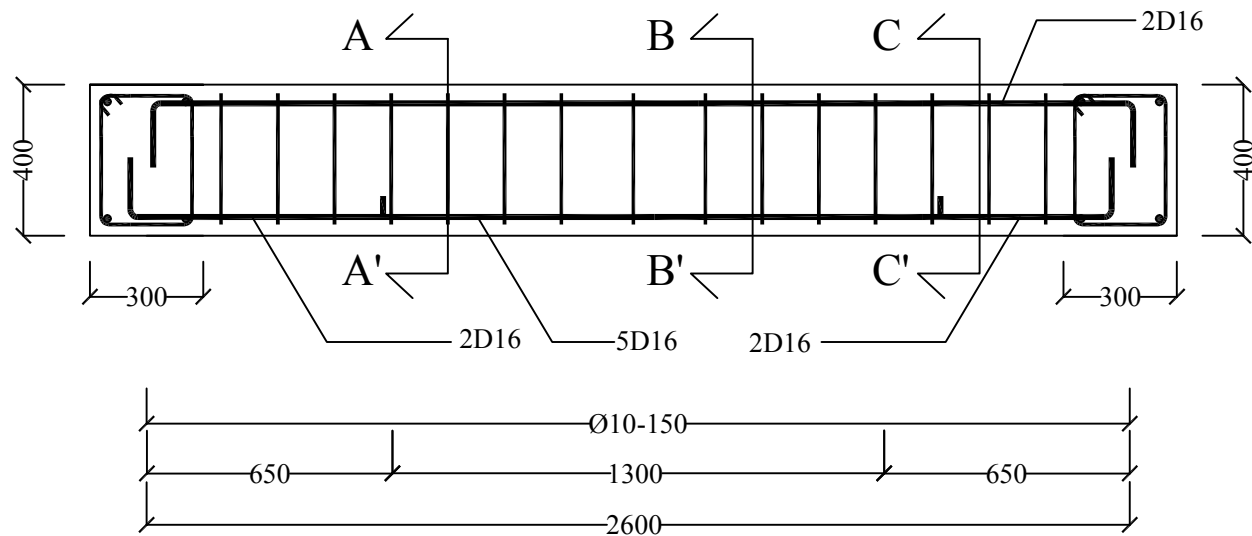
NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

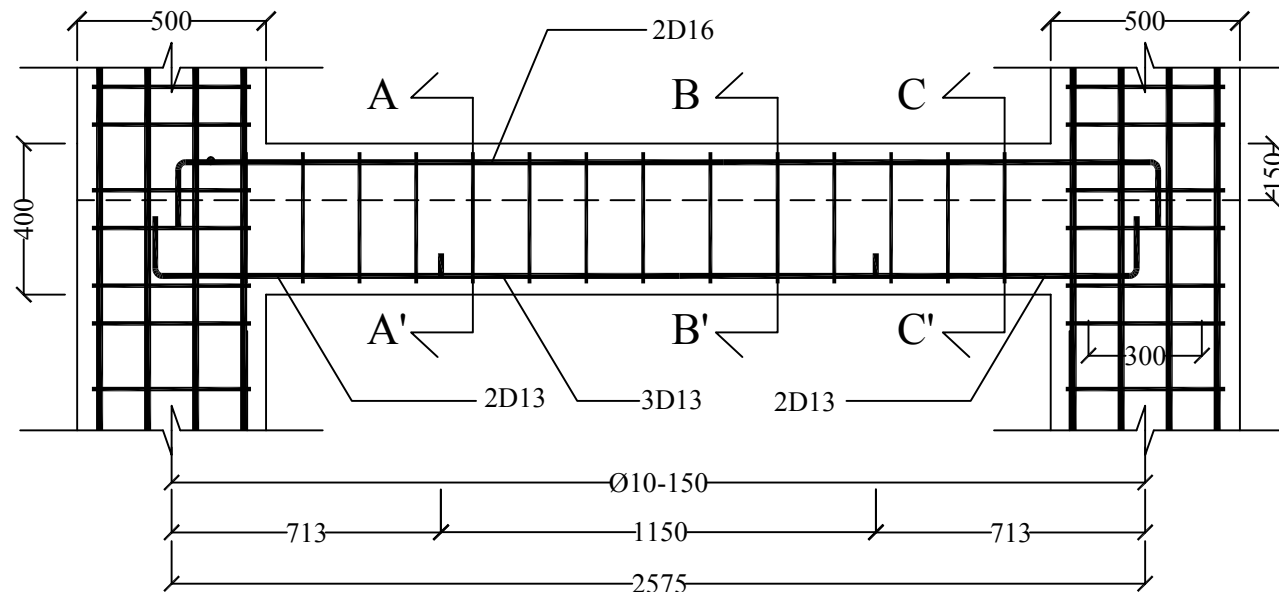
KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
- Beton  $f_c'$  : 35 Mpa  
- Beton Pratekan  $f_c'$  : 40 Mpa

NO.GBR  
**32**

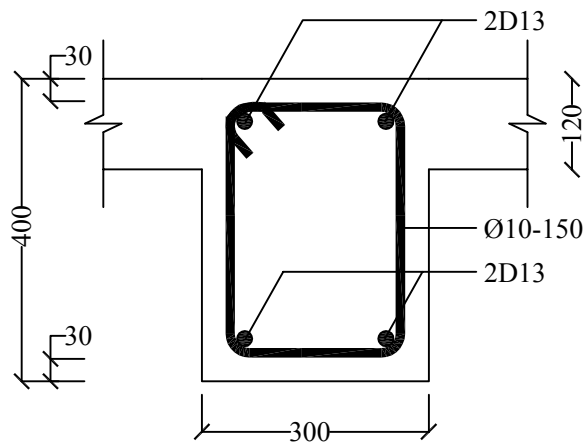
JML.GBR  
**47**



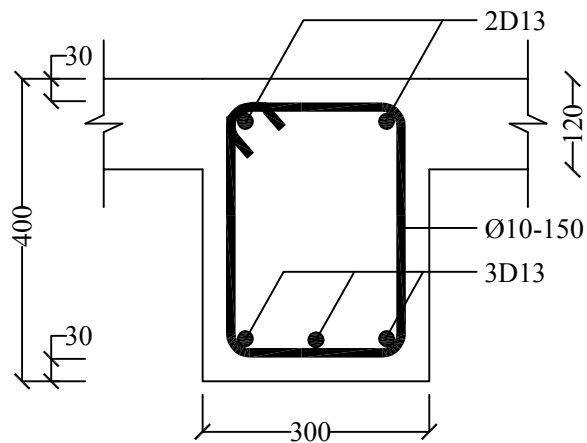




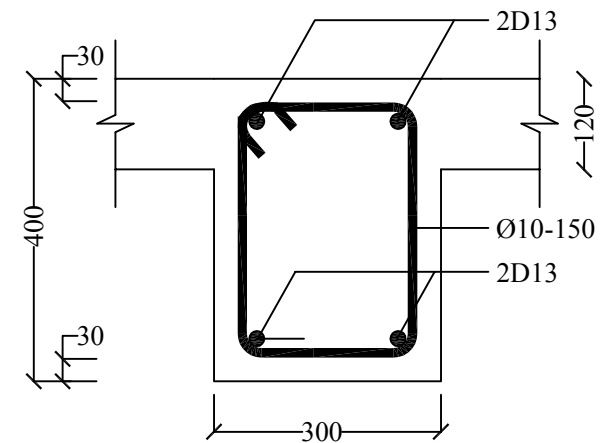
**DETAIL PENULANGAN BALOK BORDES**  
SKALA 1:20



**POTONGAN A-A'**  
SKALA 1:10



**POTONGAN B-B'**  
SKALA 1:10



**POTONGAN C-C'**  
SKALA 1:10



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
  
TUGAS AKHIR

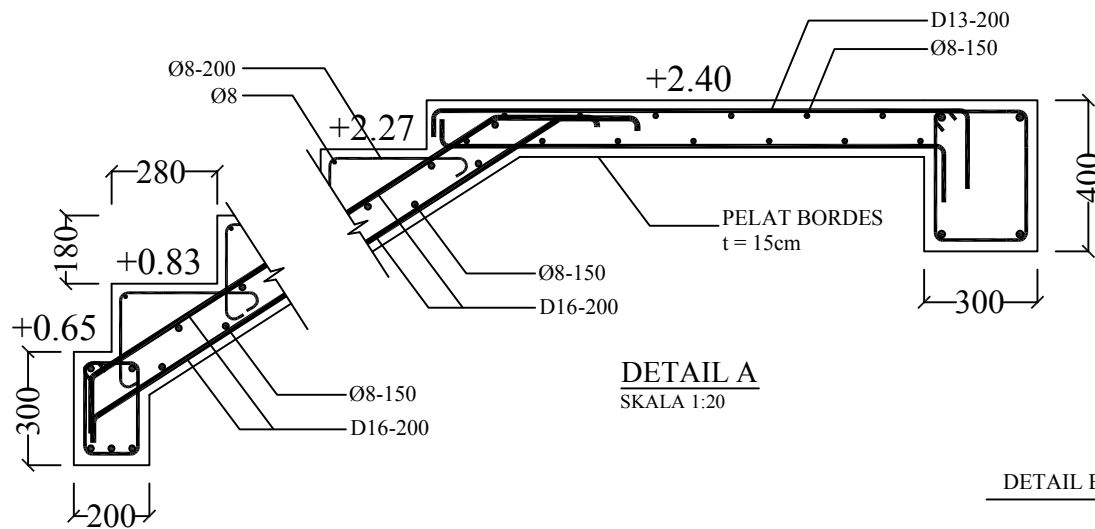
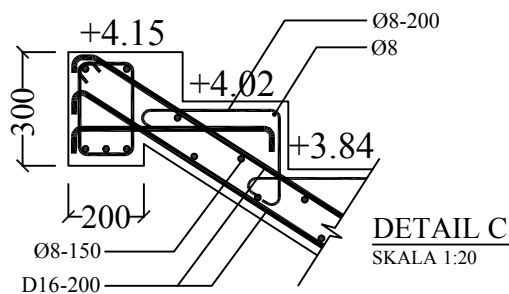
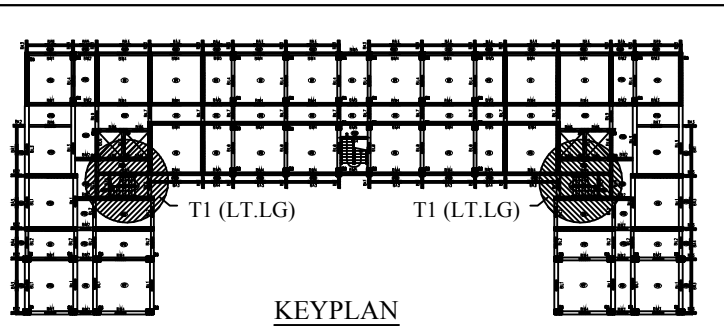
DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

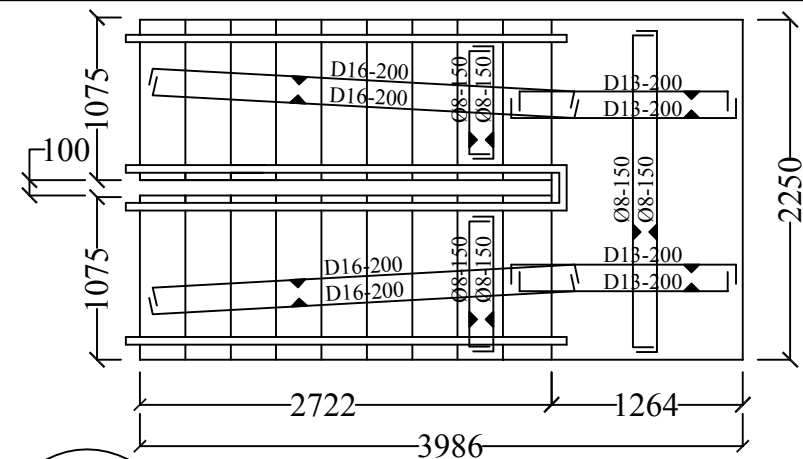
PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
- Beton  $f_c'$  : 35 Mpa  
- Beton Pratekan  $f_c'$  : 40 Mpa

NO.GBR	JML.GBR
34	47

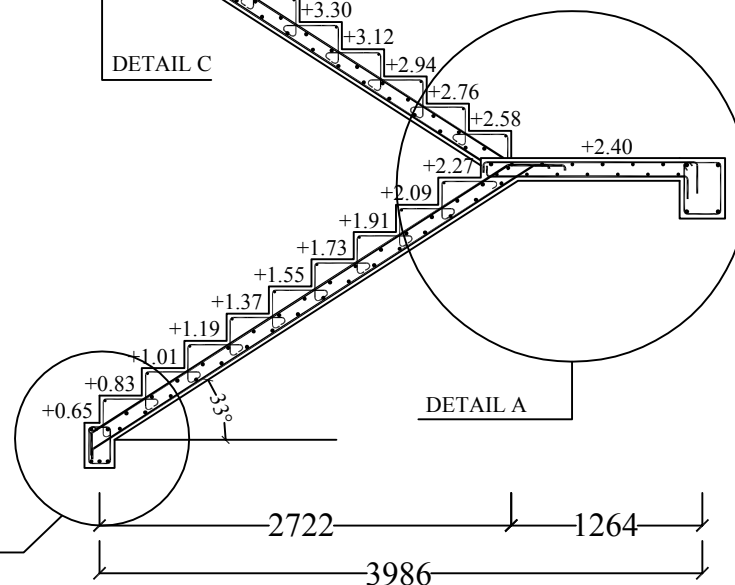


DETAIL B  
SKALA 1:20




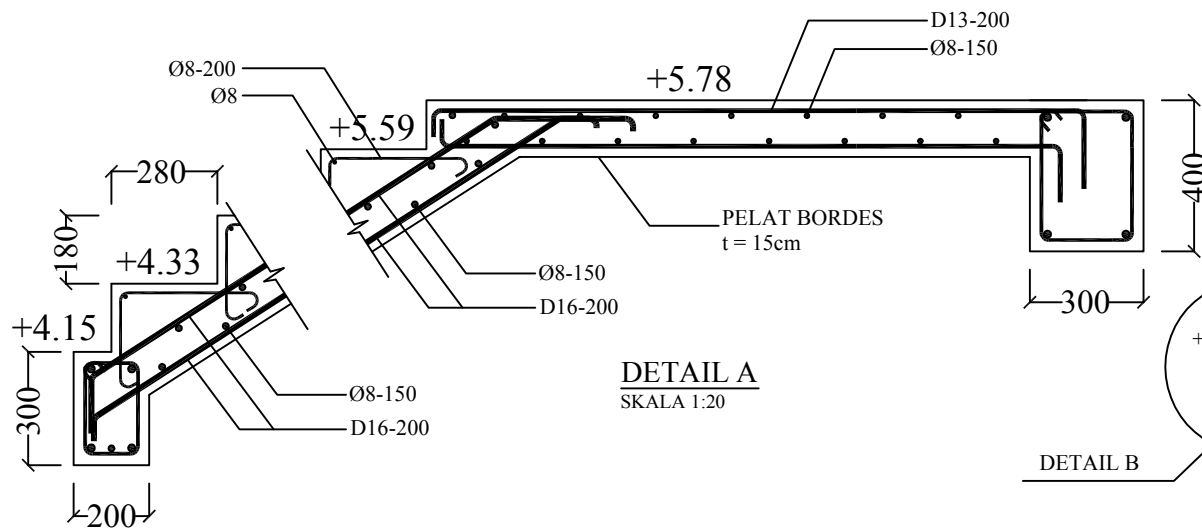
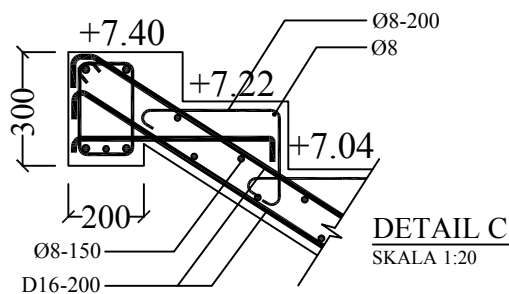
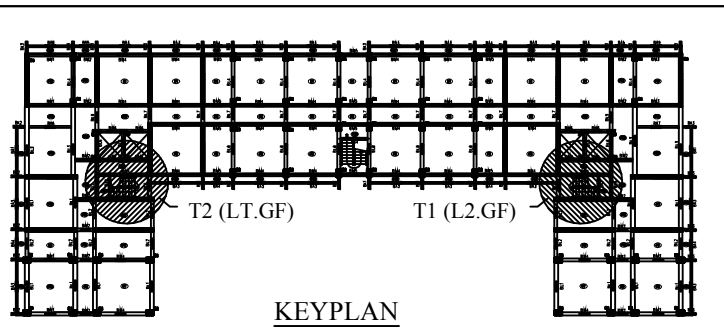
PELAT TANGGA  
t = 15cm

DETAIL C

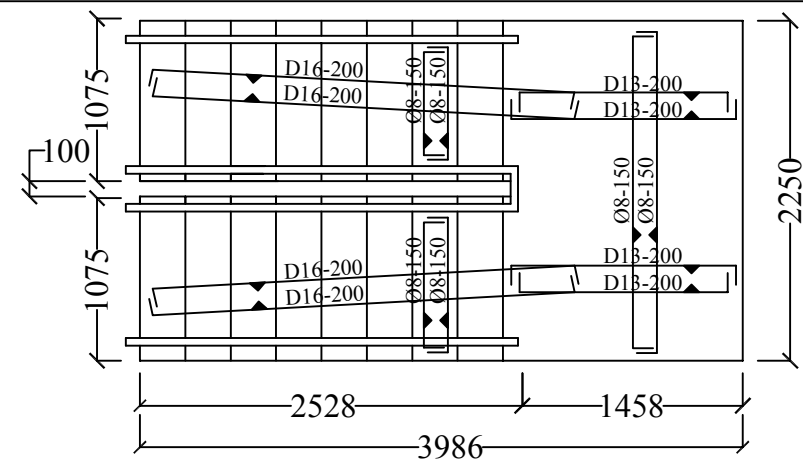


DETAIL PENULANGAN TANGGA T1  
SKALA 1:50

 <p>INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL</p>	JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA MAHASISWA	PROYEK	KETERANGAN	NO.GBR	JML.GBR
	TUGAS AKHIR	Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D. NIP. 197002011995122001 Dr. Ir. Djoko Irawan, MS NIP. 195902131987011001	Yogi Dwi Hakiki Putra NRP. 03111645000022	APARTEMEN LAGOON RESORT BEKASI	Mutu Bahan - Baja Tul lentur fy : 400 Mpa - Baja Tul Geser fy : 240 Mpa - Beton fc' : 35 Mpa - Beton Pratekan fc' : 40 Mpa	35	47



DETAIL B  
SKALA 1:20




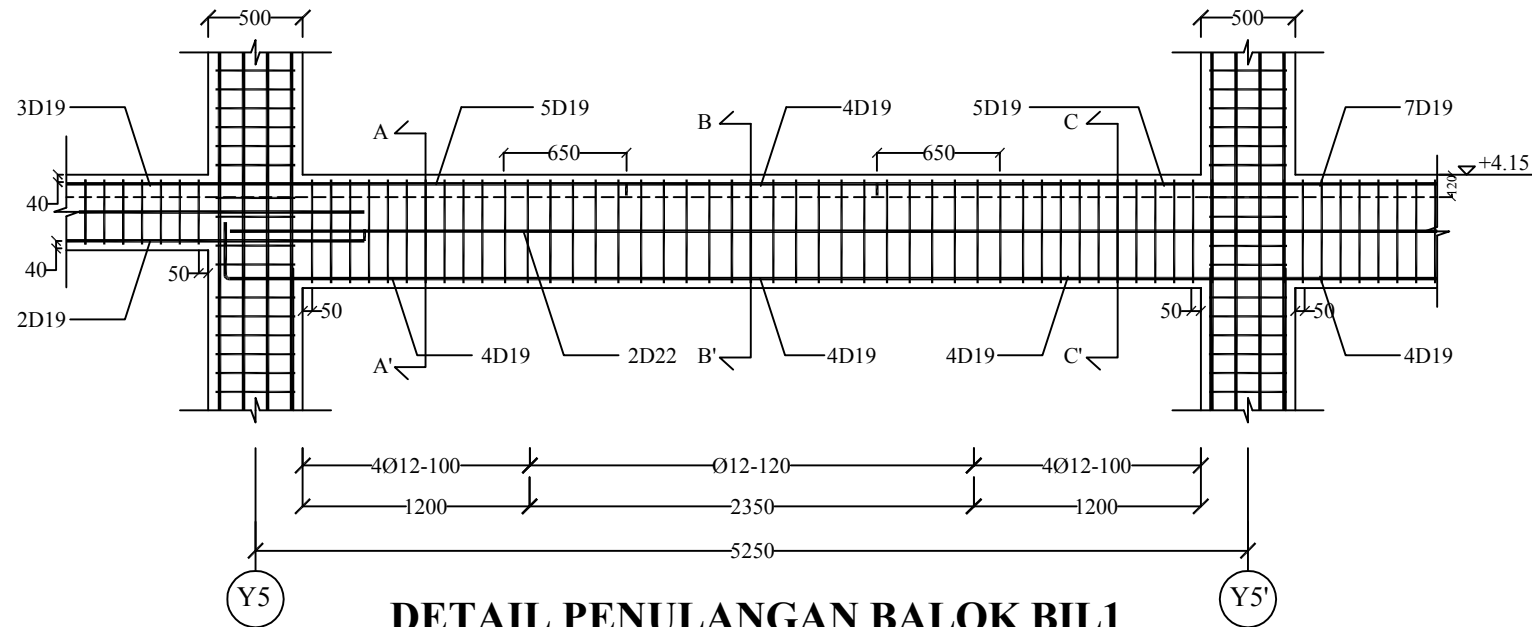
PELAT TANGGA  
t = 15cm

DETAIL C

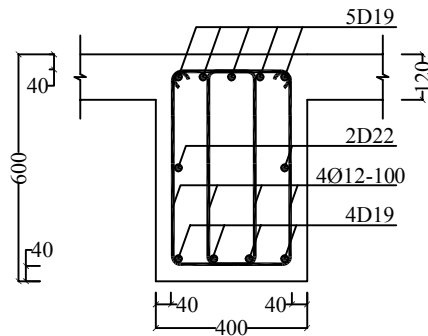
DETAIL B

DETAIL PENULANGAN TANGGA T2  
SKALA 1:50

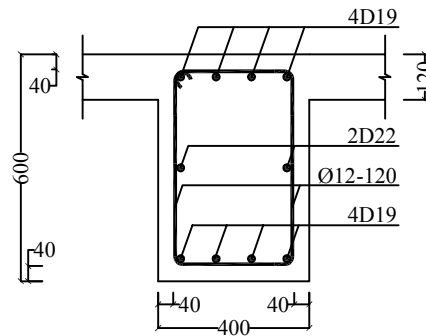
 <p>INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL</p>	JUDUL TUGAS	DOSEN PEMBIMBING	NAMA MAHASISWA	PROYEK	KETERANGAN	NO.GBR	JML.GBR
	TUGAS AKHIR	Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D. NIP. 197002011995122001 Dr. Ir. Djoko Irawan, MS NIP. 195902131987011001	Yogi Dwi Hakiki Putra NRP. 03111645000022	APARTEMEN LAGOON RESORT BEKASI	Mutu Bahan - Baja Tul lentur fy : 400 Mpa - Baja Tul Geser fy : 240 Mpa - Beton fc' : 35 Mpa - Beton Pratekan fc' : 40 Mpa	36	47



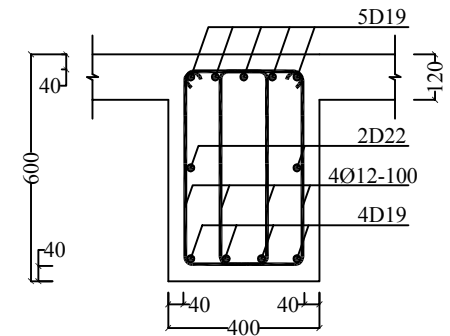
**DETAIL PENULANGAN BALOK BIL1**  
SKALA 1:40



**POTONGAN A-A'**  
SKALA 1:20



**POTONGAN B-B'**  
SKALA 1:20



**POTONGAN C-C'**  
SKALA 1:20



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

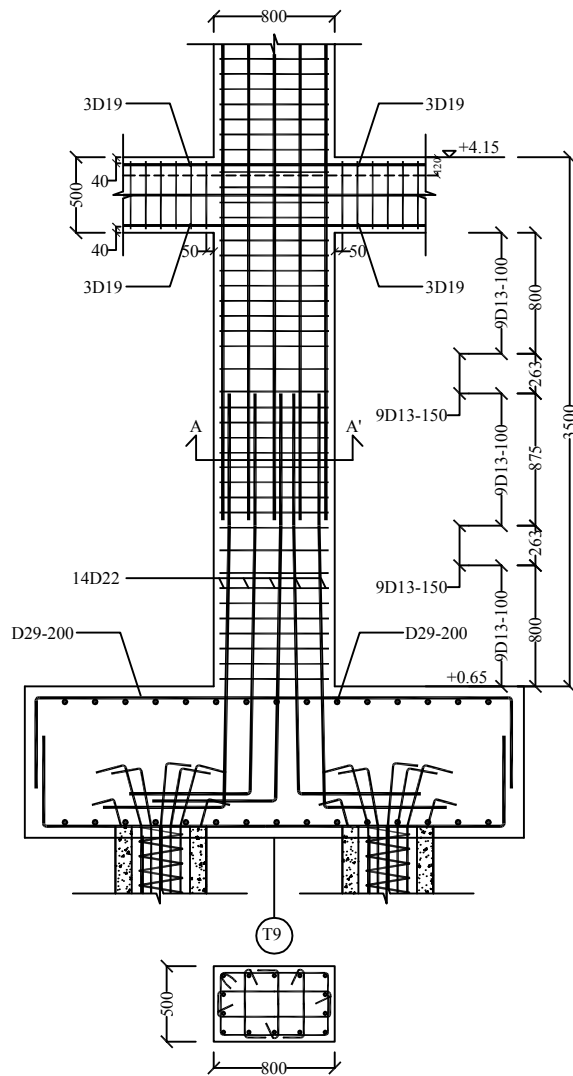
PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
- Beton  $f_c'$  : 35 Mpa  
- Beton Pratekan  $f_c'$  : 40 Mpa

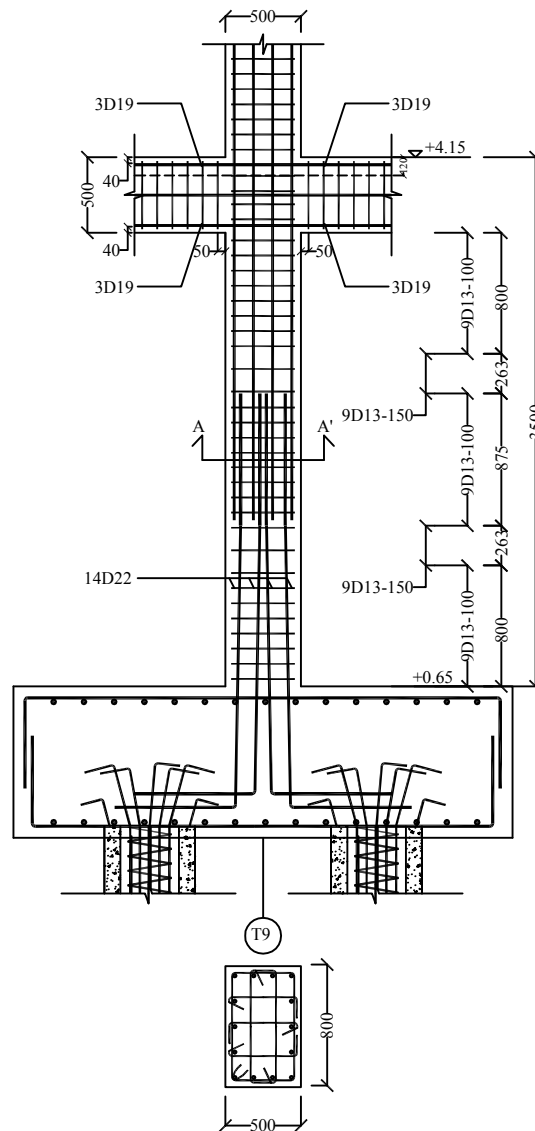
NO.GBR  
37

JML.GBR  
47

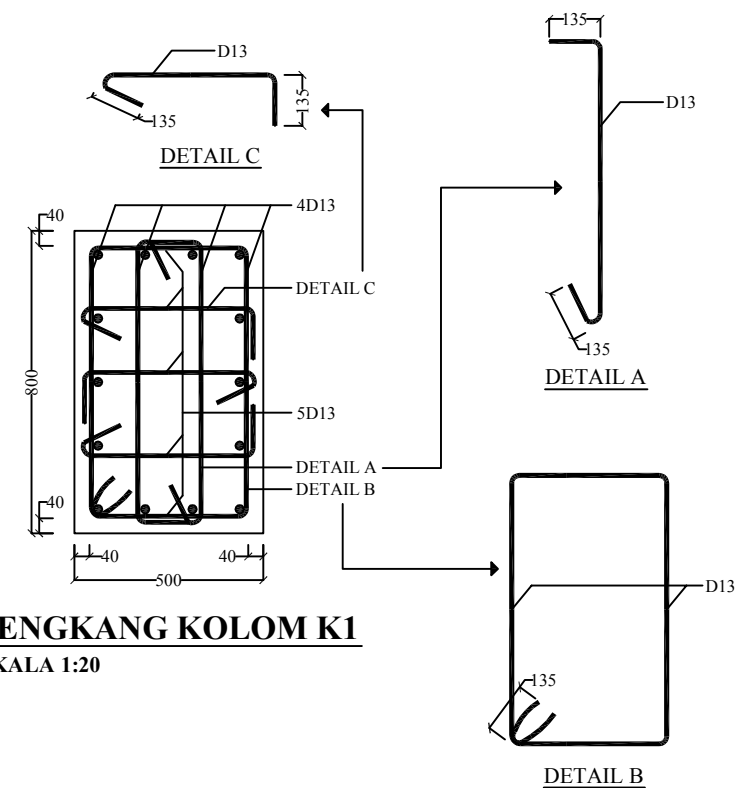




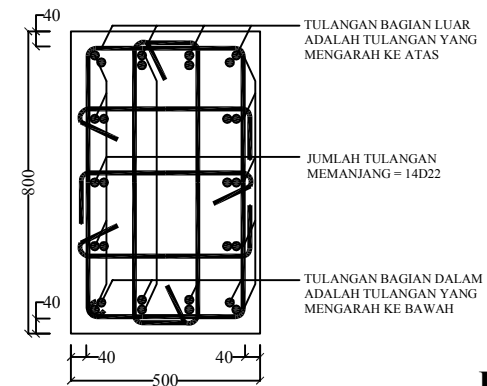
**PENULANGAN KOLOM K1 (POT1-1)**  
SKALA 1:50



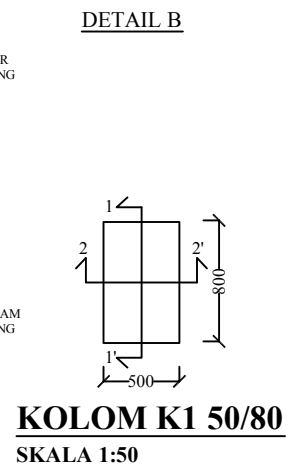
**PENULANGAN KOLOM K1 (POT2-2)**  
SKALA 1:50



**SENGKANG KOLOM K1**  
SKALA 1:20



**POT. A-A KOLOM K1**  
SKALA 1:20



**KOLOM K1 50/80**  
SKALA 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
TUGAS AKHIR

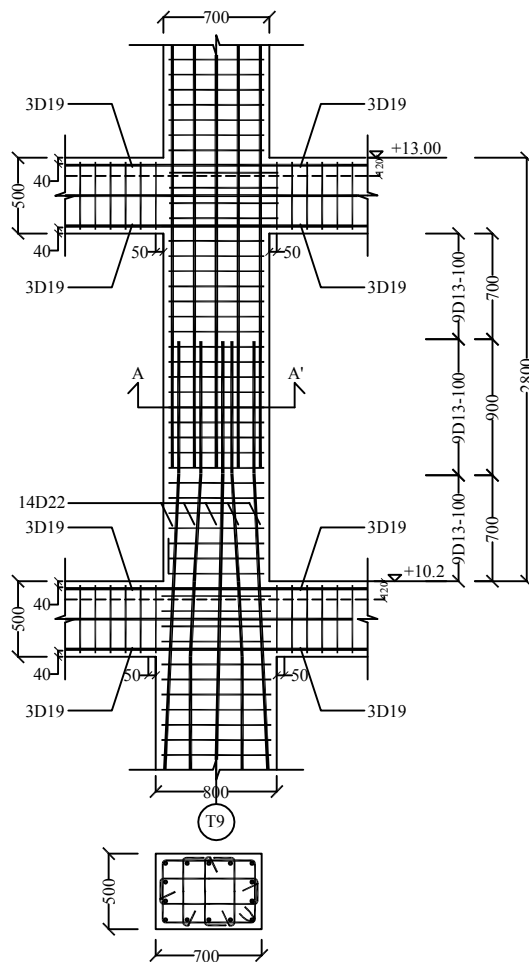
DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

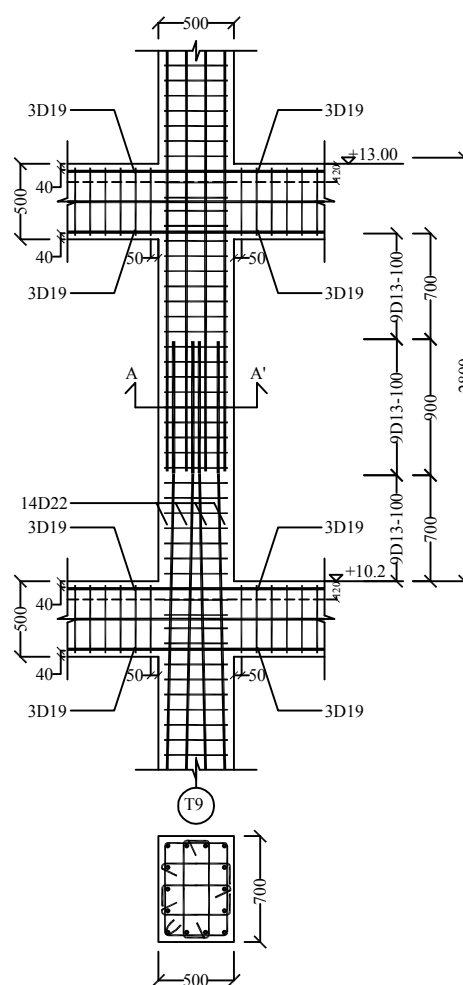
KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Beton fc' : 35 Mpa  
- Beton Pratekan fc' : 40 Mpa

NO.GBR  
39  
JML.GBR  
47



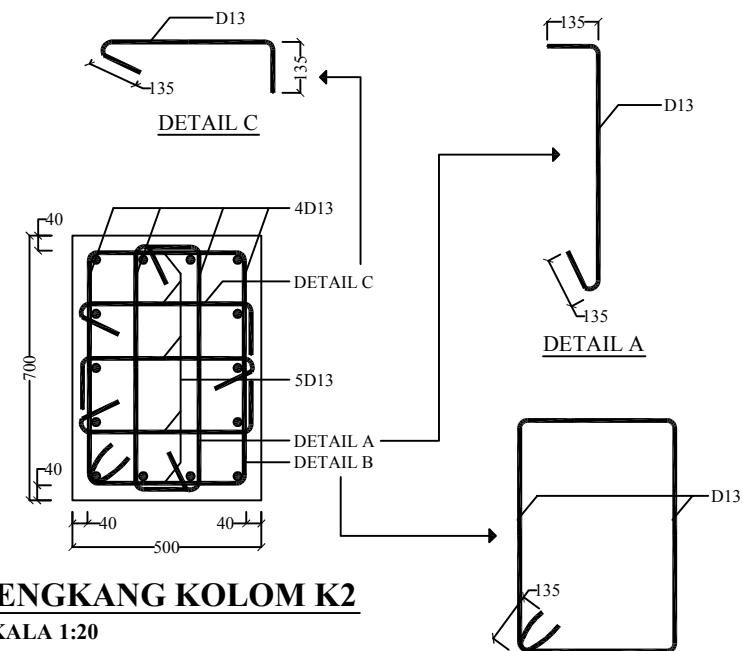
**PENULANGAN KOLOM K2 (POT1-1)**

SKALA 1:50



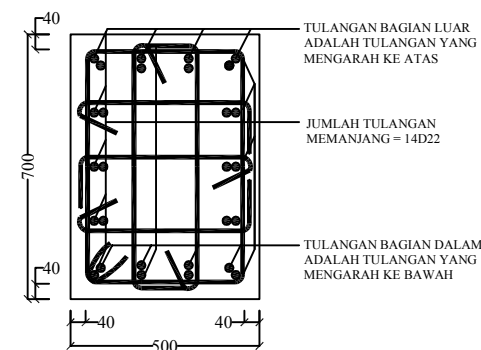
**PENULANGAN KOLOM K2 (POT2-2)**

SKALA 1:50



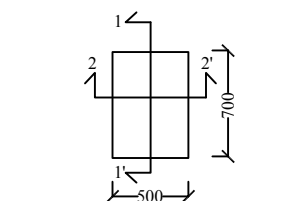
**SENGKANG KOLOM K2**

SKALA 1:20



**POT. A-A KOLOM K2**

SKALA 1:20



**KOLOM K2 50/70**

SKALA 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
  
TUGAS AKHIR

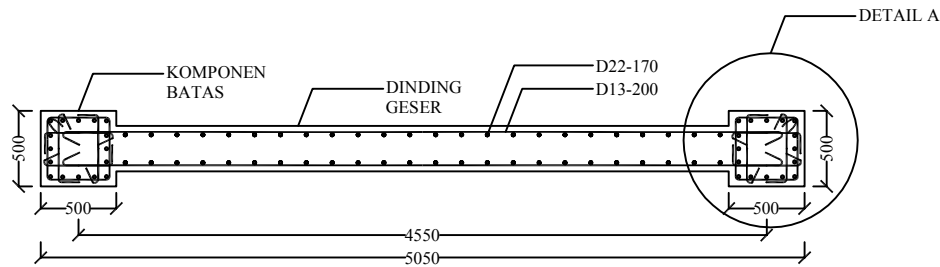
DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

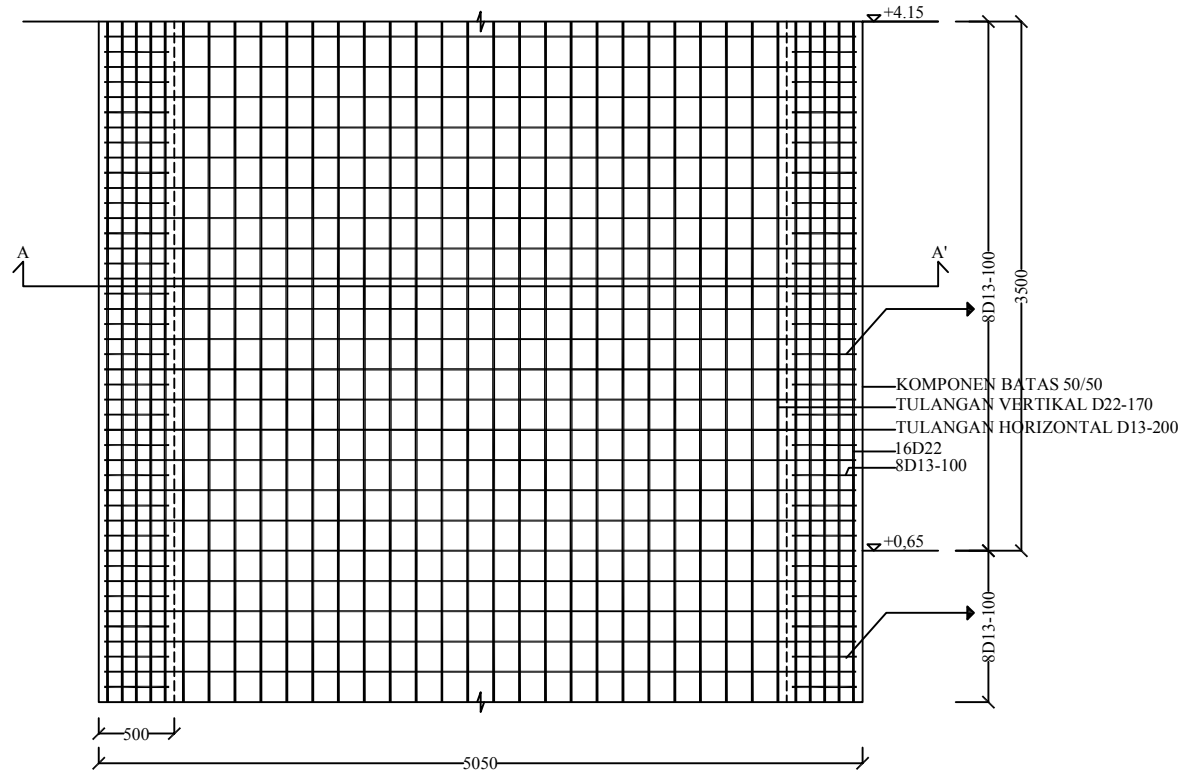
KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Beton fc' : 35 Mpa  
- Beton Pratekan fc' : 40 Mpa

NO.GBR  
40  
JML.GBR  
47



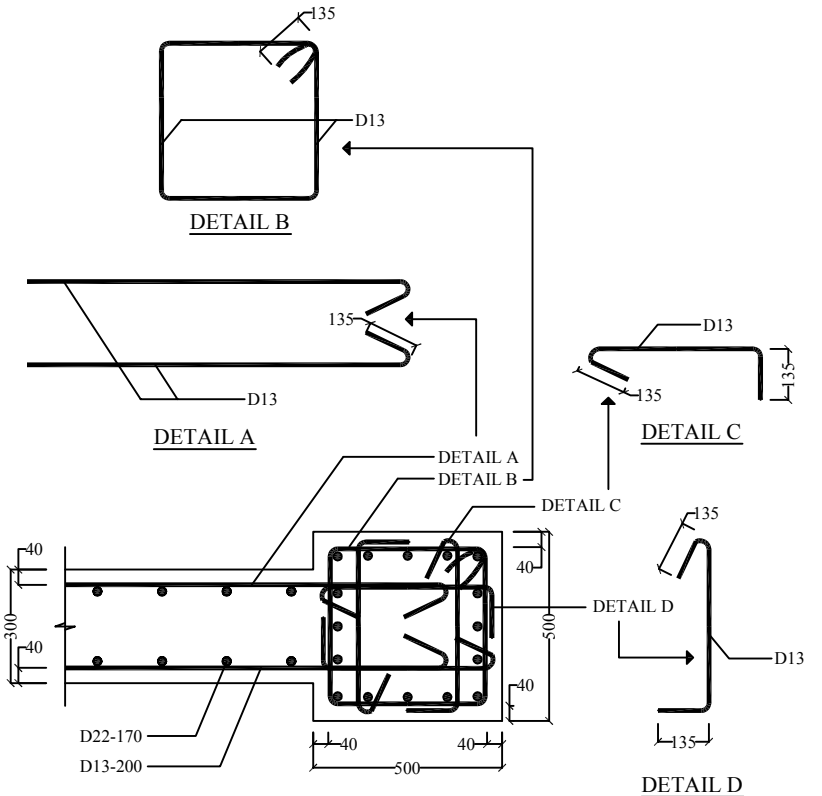
**POTONGAN A-A DINDING GESER SWX1**

SKALA 1:50



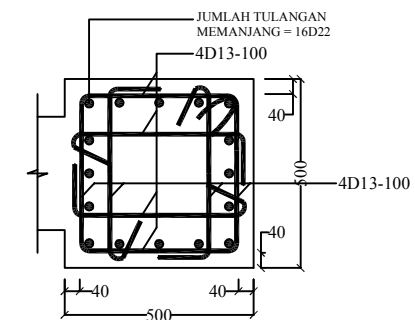
**PENULANGAN DINDING GESER SWX1**

SKALA 1:50



**DETAIL A DINDING GESER SWX1**

SKALA 1:20



**KOMPONEN BATAS SWX1**

SKALA 1:20



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
  
TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

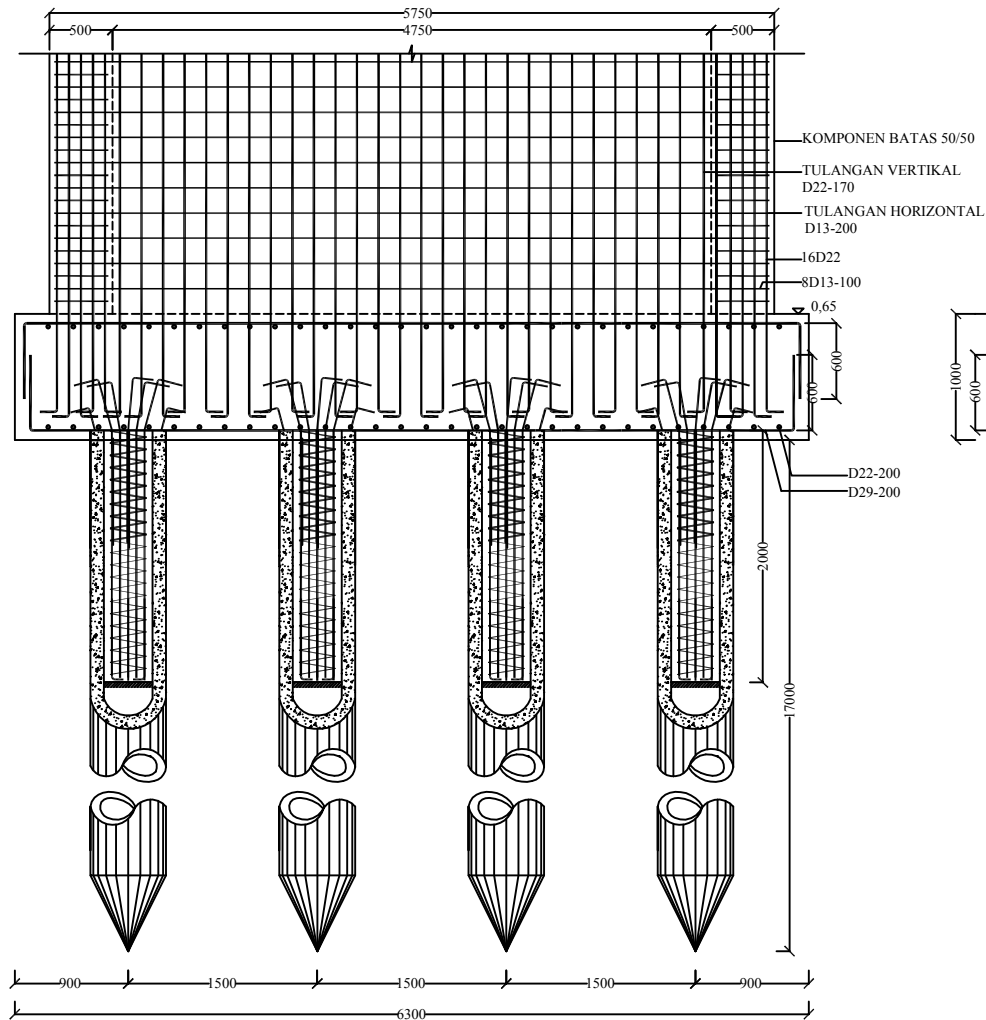
NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

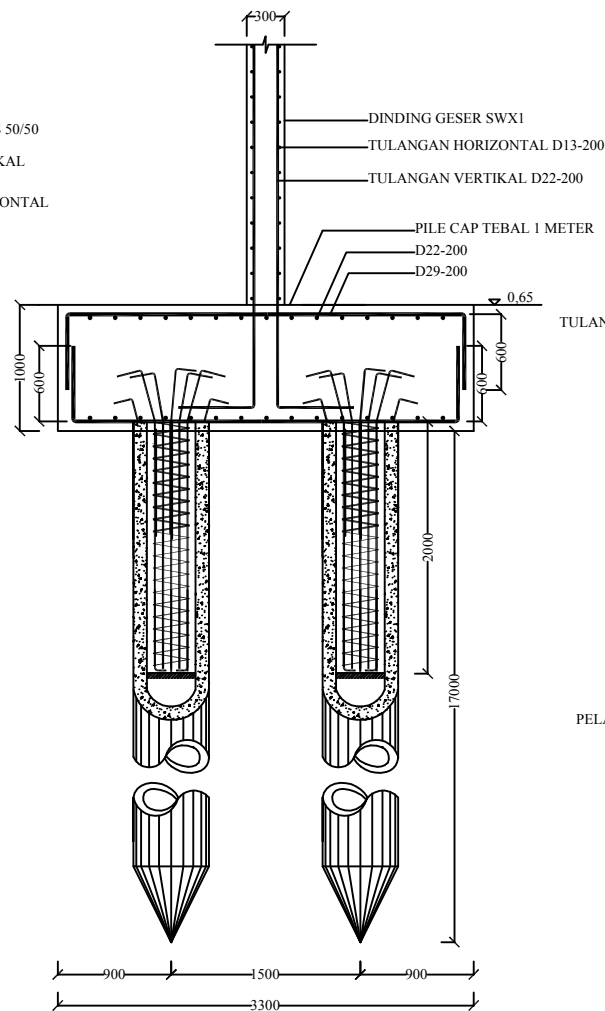
KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
- Beton  $f_c'$  : 35 Mpa  
- Beton Pratekan  $f_c'$  : 40 Mpa

NO.GBR  
41  
JML.GBR  
47

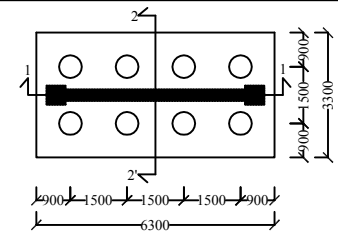




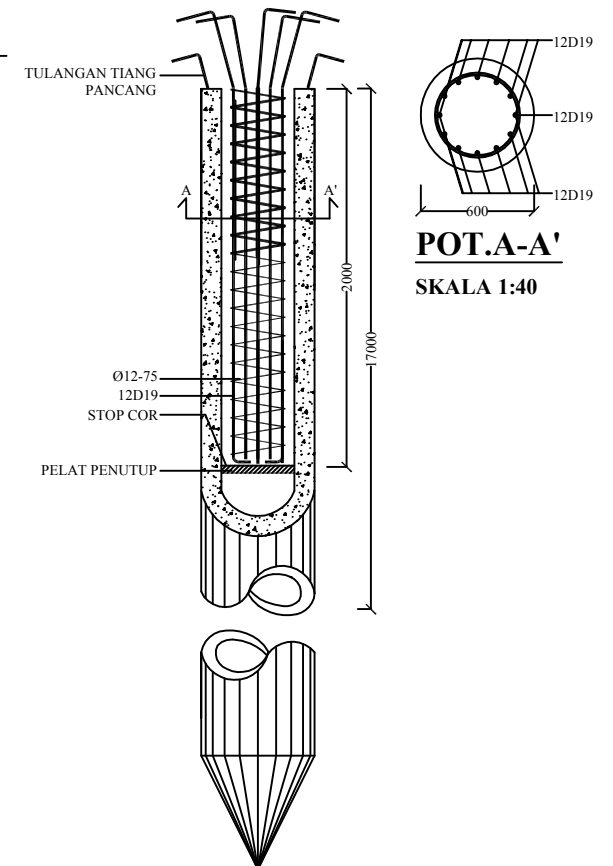
**POTONGAN 1-1' PONDASI PC1**  
SKALA 1:60



**POTONGAN 2-2' PONDASI PC1**  
SKALA 1:60



**PILE CAP PC1**  
SKALA 1:200



**DETAIL TIANG PANCANG PC1**  
SKALA 1:40



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
  
TUGAS AKHIR

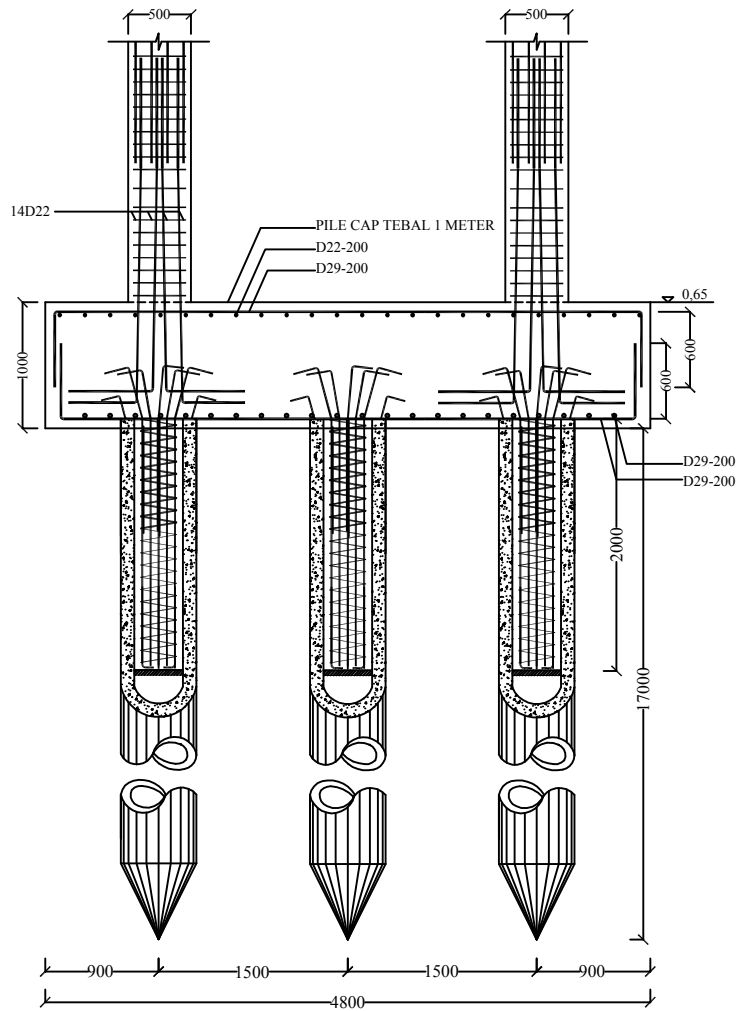
DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

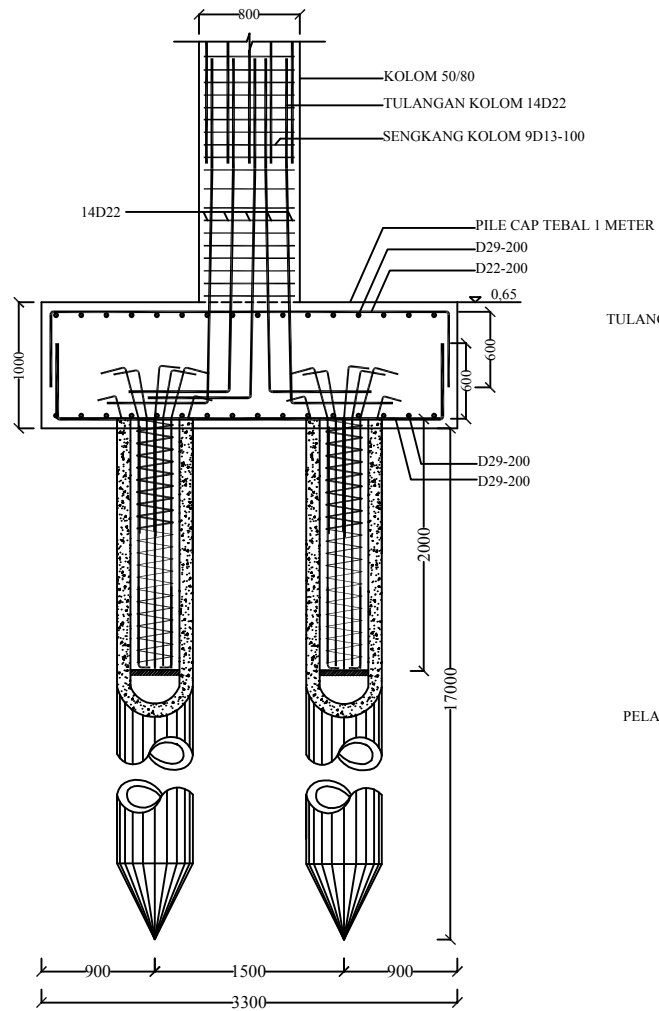
PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Beton fc' : 35 Mpa  
- Beton Pratekan fc' : 40 Mpa

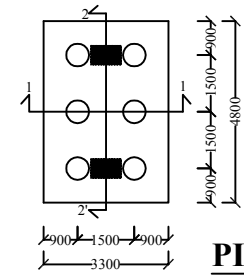
NO.GBR  
42  
JML.GBR  
47



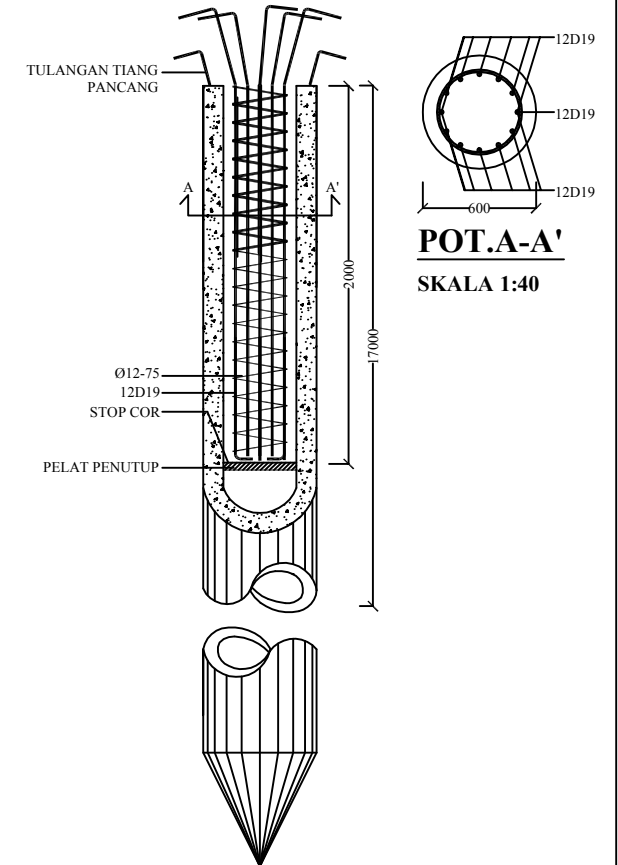
**POTONGAN 2-2' PONDASI PC3**  
SKALA 1:60



**POTONGAN 1-1' PONDASI PC3**  
SKALA 1:60



**PILE CAP PC3**  
SKALA 1:200



**DETAIL TIANG PANCANG PC3**  
SKALA 1:40



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
  
TUGAS AKHIR

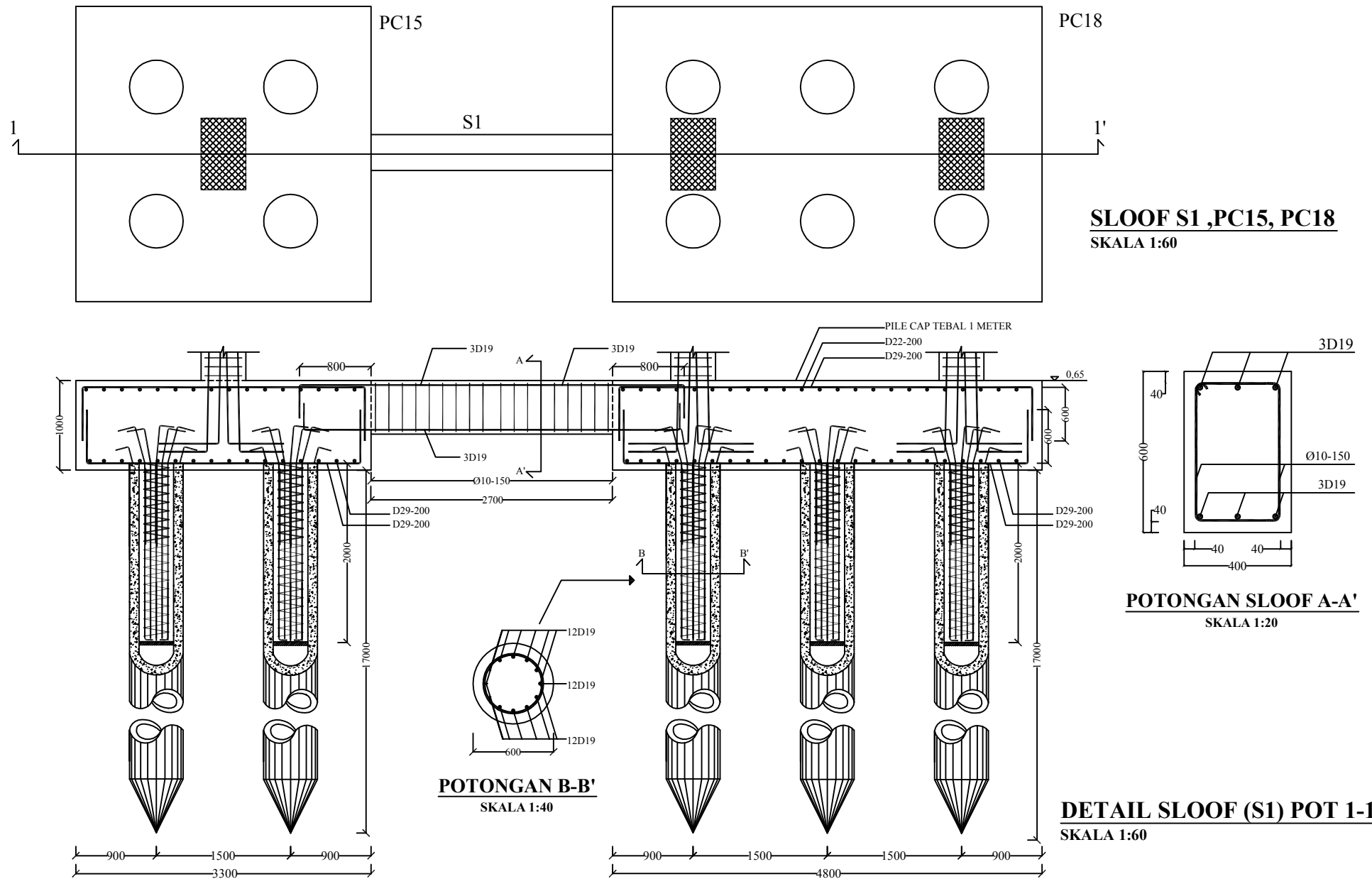
DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Beton fc' : 35 Mpa  
- Beton Pratekan fc' : 40 Mpa

NO.GBR  
43  
JML.GBR  
47



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
  
TUGAS AKHIR

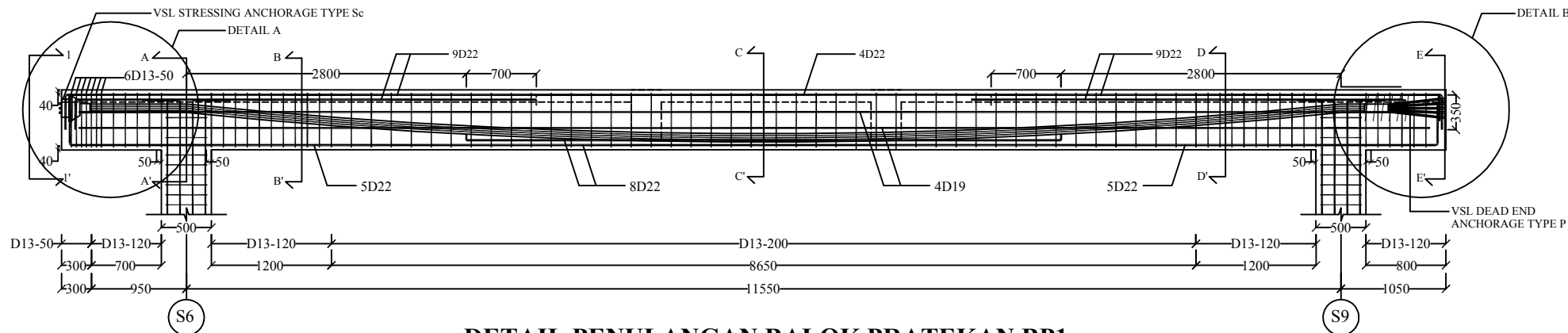
DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

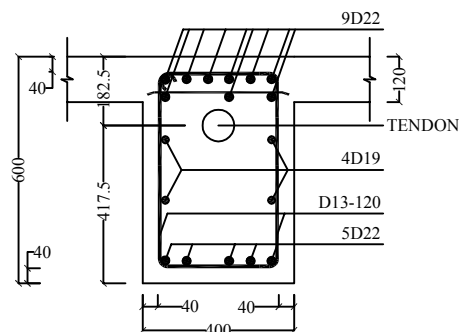
KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
- Beton  $f_c'$  : 35 Mpa  
- Beton Pratekan  $f_c'$  : 40 Mpa

NO.GBR  
44  
JML.GBR  
47



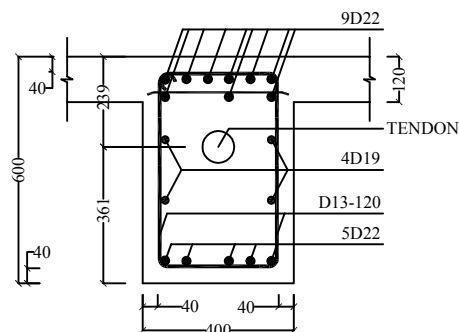
### DETAIL PENULANGAN BALOK PRATEKAN BP1

SKALA 1:60



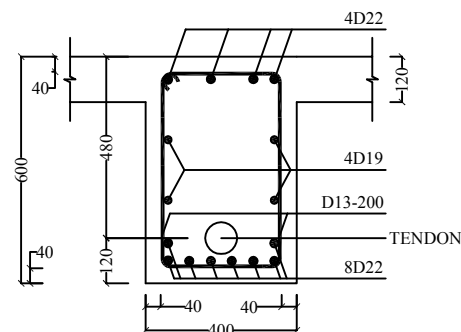
#### POTONGAN A-A'

SKALA 1:20



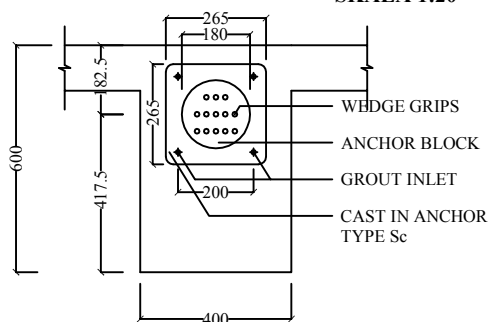
#### POTONGAN B-B'

SKALA 1:20



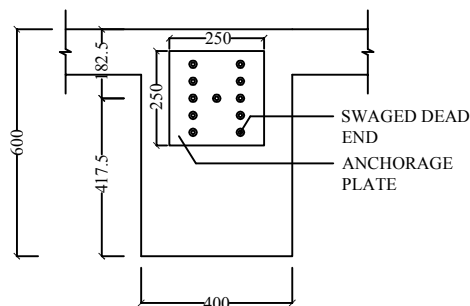
#### POTONGAN C-C'

SKALA 1:20



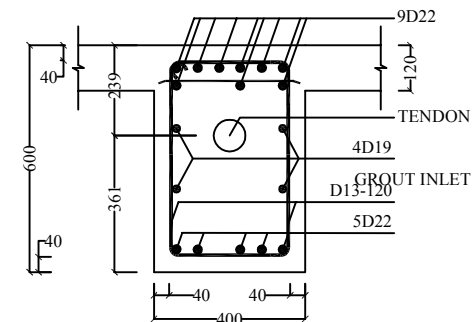
#### TAMPAK 1-1'

SKALA 1:20



#### POTONGAN E-E'

SKALA 1:20



#### POTONGAN D-D'

SKALA 1:20



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

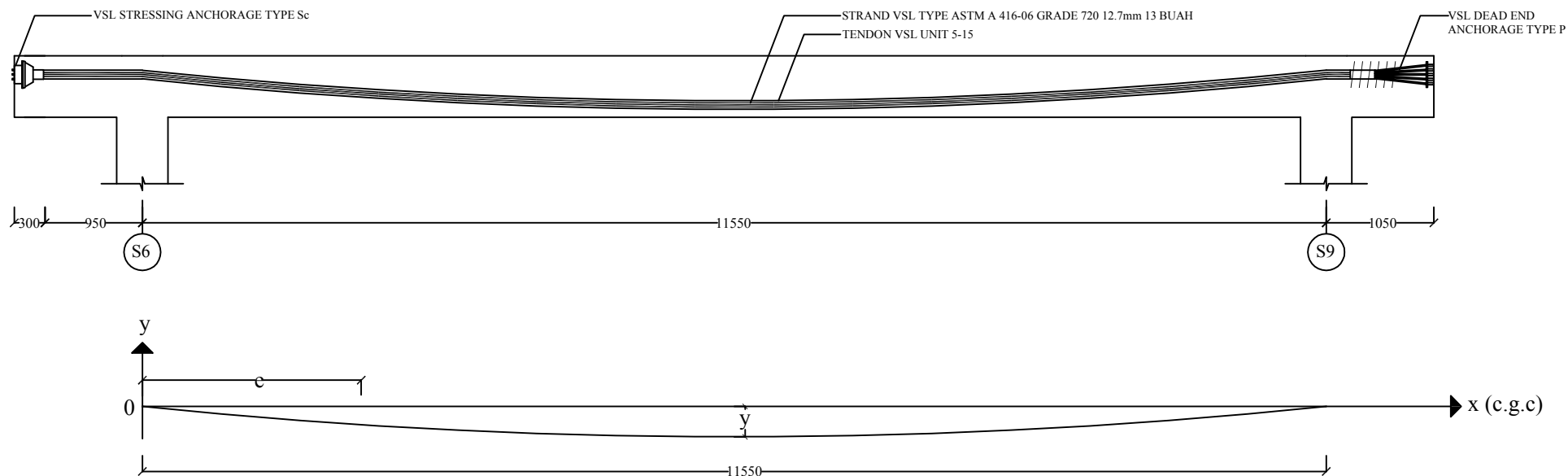
NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
- Beton  $f_c'$  : 35 Mpa  
- Beton Pratekan  $f_c'$  : 40 Mpa

NO.GBR  
45

JML.GBR  
47



x (mm)	0	577.5	1155	1732.5	2310	2887.5	3465	4042.5	4620	5197.5	5775	6352.5	6930	7507.5	8085	8662.5	9240	9817.5	10395	10972.5	11550
y (mm)	0	-56.53	-107.12	-151.75	-190.43	-223.16	-249.94	-270.77	-285.65	-294.58	-297.55	-294.58	-285.65	-270.77	-249.94	-223.16	-190.43	-151.75	-107.12	-56.53	0

### **LETAK TENDON BALOK PRATEKAN BP1**

**SKALA 1:60**



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS

**TUGAS AKHIR**

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

NAMA MAHASISWA

Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

PROYEK

APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

KETERANGAN

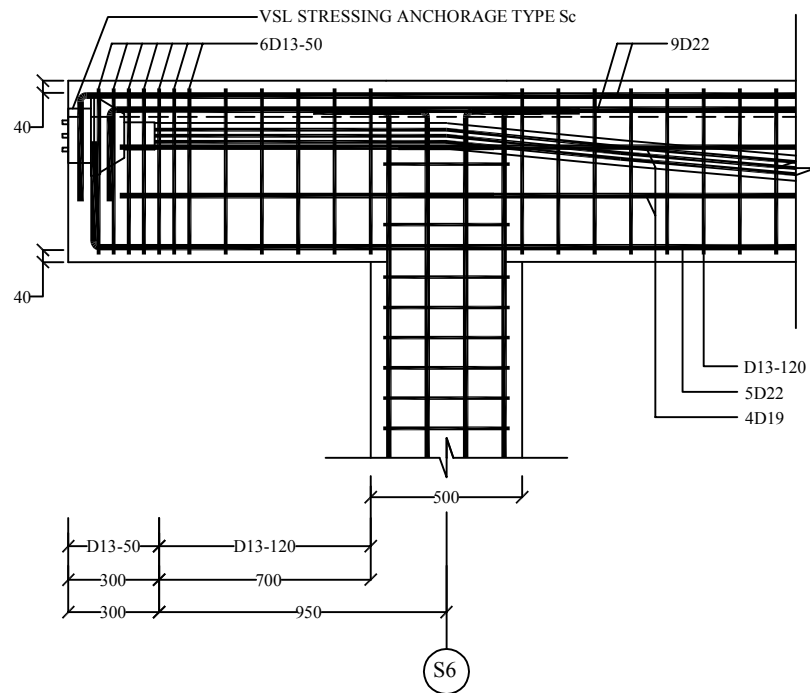
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur  $f_y$  : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser  $f_y$  : 240 Mpa  
- Beton  $f_c'$  : 35 Mpa  
- Beton Pratekan  $f_c'$  : 40 Mpa

NO.GBR

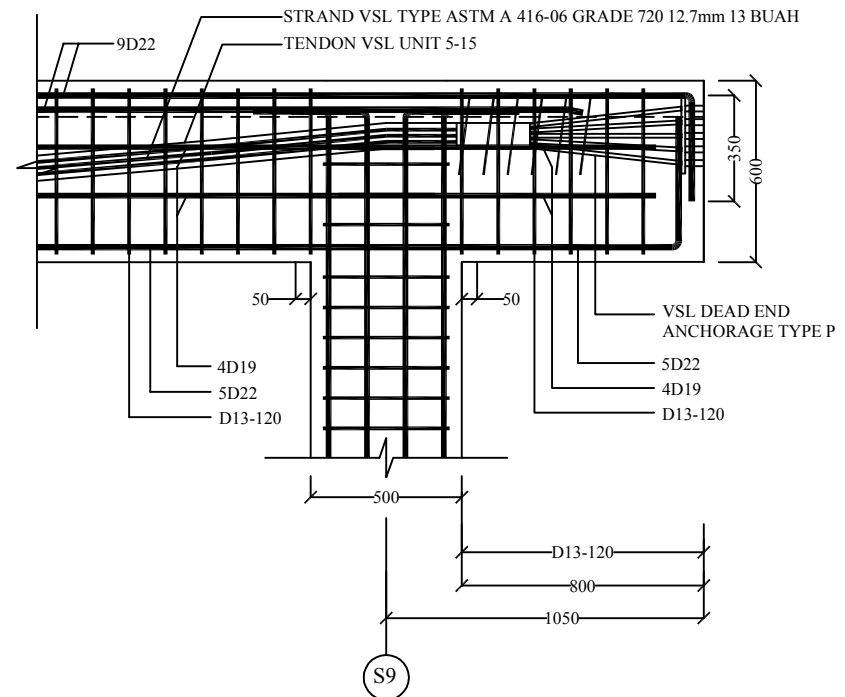
**46**

JML.GBR

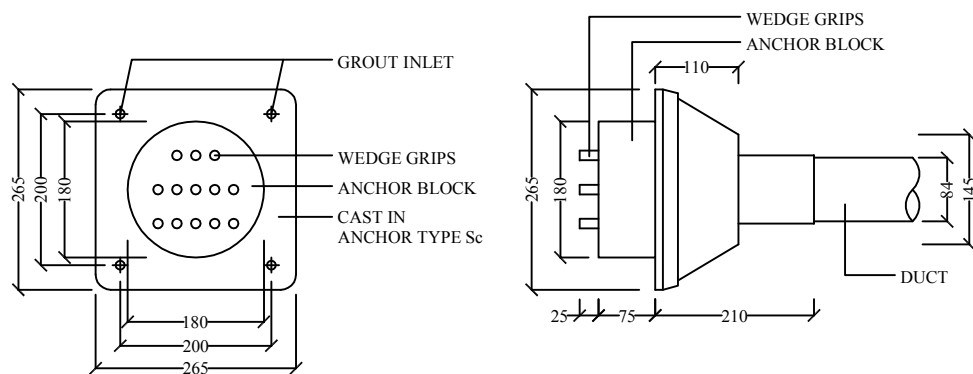
**47**



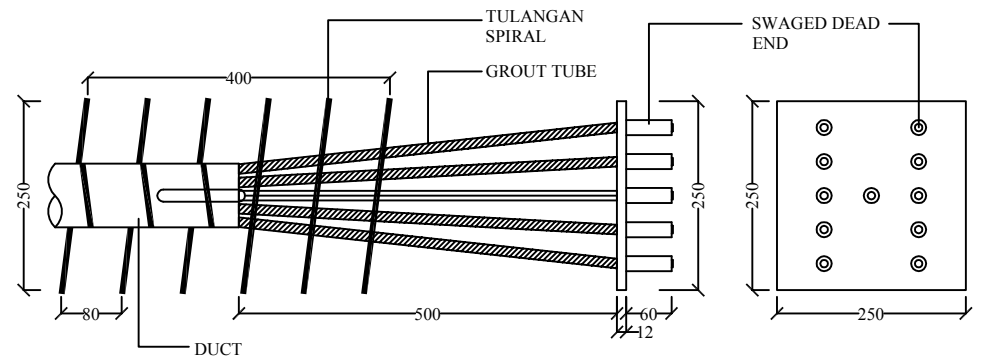
**DETAIL A BALOK PRATEKAN BP1**  
SKALA 1:25



**DETAIL B BALOK PRATEKAN BP1**  
SKALA 1:25



**DETAIL VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE Sc**  
SKALA 1:10



**DETAIL VSL DEAD END ANCHORAGE TYPE P**  
SKALA 1:10



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN  
KEBUMIHAN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS  
TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING  
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197002011995122001  
Dr. Ir. Djoko Irawan, MS  
NIP. 195902131987011001

NAMA MAHASISWA  
Yogi Dwi Hakiki Putra  
NRP. 03111645000022

PROYEK  
APARTEMEN LAGOON  
RESORT BEKASI

KETERANGAN  
Mutu Bahan  
- Baja Tul lentur fy : 400 Mpa  
- Baja Tul Geser fy : 240 Mpa  
- Beton fc' : 35 Mpa  
- Beton Pratekan fc' : 40 Mpa

NO.GBR  
47

JML.GBR  
47

# 1 - STRAND

## 1.1 - STRAND PROPERTIES 13mm (0.5")

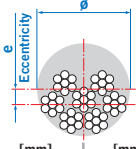
Strand type			prEN 10138 – 3 (2006) Y1860S7		ASTM A 416-06 Grade 270
Nominal diameter	d	(mm)	12.5	12.9	12.7
Nominal cross section	A <sub>p</sub>	(mm <sup>2</sup> )	93	100	98.7
Nominal mass	M	(kg/m)	0.726	0.781	0.775
Nominal yield strength	f <sub>p0.1k</sub>	(MPa)	1634 <sup>1</sup>	1640 <sup>1</sup>	1675 <sup>2</sup>
Nominal tensile strength	f <sub>pk</sub>	(MPa)	1860	1860	1860
Specif./min. breaking load	F <sub>pk</sub>	(kN)	173	186	183.7
Young's modulus		(GPa)		approx. 195	
Relaxation <sup>3</sup> after 1000 h at 20°C and 0.7 x F <sub>pk</sub>		(%)		max. 2.5	

1) Characteristic value measured at 0.1% permanent extension

2) Minimum load at 1% extension for low-relaxation strand

3) Valid for relaxation class acc. to prEN 10138-3 or low-relaxation grade acc. to ASTM A 416-06

## 1.2 - TENDON PROPERTIES 13mm (0.5")

Unit	Strands numbers	Steel area			Breaking load			Corrugated steel duct <sup>3</sup> (recommended)		Corrugated plastic duct VSL PT-PLUS®		Steel pipes  ø ext x t
		A <sub>p</sub> acc. to prEN		ASTM	Y1860S7 (prEN)		Grade 270 (ASTM)	ø <sub>i</sub> / ø <sub>e</sub>	e	ø <sub>i</sub> / ø <sub>e</sub>	e	
		d=12.5 mm A <sub>p</sub> =93 mm <sup>2</sup> [mm <sup>2</sup> ]	d=12.9 mm A <sub>p</sub> =100 mm <sup>2</sup> [mm <sup>2</sup> ]	d=12.7 mm A <sub>p</sub> =100 mm <sup>2</sup> [mm <sup>2</sup> ]	d=12.5 mm A <sub>p</sub> =93 mm <sup>2</sup> [kN]	d=12.9 mm A <sub>p</sub> =100 mm <sup>2</sup> [kN]	d=12.7 mm A <sub>p</sub> =98.7 mm <sup>2</sup> [kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
												
5-1	1	93	100	98.7	173	186	183.7	20/25	3	22/25	6	25.0 x 2.0
5-2	2	186	200	197	346	372	367	35/40	8	76/25 <sup>1</sup>	-	31.8 x 2.0/2.5/3.0
5-3	3	279	300	296	519	558	551	35/40	6	76/25 <sup>1</sup>	-	33.7 x 2.0/2.5/3.0
5-4	4	372	400	395	692	744	735	40/45 <sup>1</sup>	7	76/25 <sup>1</sup>	-	42.4 x 2.0/2.5/3.0
5-7	5	465	500	494	865	930	919	45/50	8	58/63	14	60.3 x 2.0/2.5/3.0
	6	558	600	592	1038	1116	1102	45/50	6	58/63	12	
5-7	7	651	700	691	1211	1302	1286	50/57	7	58/63	11	60.3 x 2.0/2.5/3.0
5-12	8	744	800	790	1384	1488	1470	55/62	9	58/63	10	70.0 x 2.0/2.5/3.0
	9	837	900	888	1557	1674	1653	55/62	8	58/63	9	
	10	930	1000	987	1730	1860	1837	60/67	10	58/63	9	
	11	1023	1100	1086	1903	2046	2021	60/67	9	58/63	8	
5-12	12	1116	1200	1184	2076	2232	2204	60/67	8	58/63	7	70.0 x 2.0/2.5/3.0
5-15	13	1209	1300	1283	2249	2418	2388	65/72	9	76/81	14	82.5 x 2.0/2.5/3.0
	14	1302	1400	1382	2422	2604	2572	65/72	8	76/81	13	
5-15	15	1395	1500	1481	2595	2790	2756	70/77	9	76/81	12	82.5 x 2.0/2.5/3.0
5-19	16	1488	1600	1579	2768	2976	2939	70/77	9	76/81	12	88.9 x 2.5/3.0/3.5
	17	1581	1700	1678	2941	3162	3123	75/82	11	76/81	11	
	18	1674	1800	1777	3114	3348	3307	75/82	10	76/81	10	
5-19	19	1767	1900	1875	3287	3534	3490	75/82	9	76/81	9	88.9 x 2.5/3.0/3.5
5-22	20	1860	2000	1974	3460	3720	3674	80/87	10	100/106	20	88.9 x 2.5/3.0/3.5
	21	1953	2100	2073	3633	3906	3858	80/87	9	100/106	19	
5-22	22	2046	2200	2171	3806	4092	4041	80/87	8	100/106	18	88.9 x 2.5/3.0/3.5
5-27	23	2139	2300	2270	3979	4278	4225	85/92	12	100/106	19	101.6 x 3.0/4.0/5.0
	24	2232	2400	2369	4152	4464	4409	85/92	11	100/106	18	
	25	2325	2500	2468	4325	4650	4593	90/97	14	100/106	19	
	26	2418	2600	2566	4498	4836	4776	90/97	13	100/106	18	
5-27	27	2511	2700	2665	4671	5022	4960	95/102	15	100/106	17	101.6 x 3.0/4.0/5.0
5-31	28	2604	2800	2764	4844	5208	5144	95/102	14	100/106	16	108.0 x 3.0/4.0/5.0
	29	2697	2900	2862	5017	5394	5327	95/102	13	100/106	15	
	30	2790	3000	2961	5190	5580	5511	95/102	12	100/106	14	
5-31	31	2883	3100	3060	5363	5766	5695	95/102	11	100/106	13	108.0 x 3.0/4.0/5.0
5-37	32	2976	3200	3158	5536	5952	5878	100/107	13	115/121	20	114.3 x 3.0/4.0/5.0
	33	3069	3300	3257	5709	6138	6062	100/107	12	115/121	19	
	34	3162	3400	3356	5882	6324	6246	100/107	12	115/121	19	
	35	3255	3500	3455	6055	6510	6430	110/117	17	115/121	19	
	36	3348	3600	3553	6228	6696	6613	110/117	17	115/121	19	
5-37	37	3441	3700	3652	6401	6882	6797	110/117	16	115/121	18	114.3 x 3.0/4.0/5.0
5-43	43	3999	4300	4244	7439	7998	7899	120/127	18	130/136	23	127.0 x 3.0/4.0/5.0
5-55	55	5115	5500	5429	9515	10230	10104	130/137	17	130/136	17	139.7 x 3.0/4.0/5.0

1) Flat ducts possible as well

2) Flat duct PT-PLUS® with rectangular slab anchorages, for PT-PLUS® see also under 3.1.3.

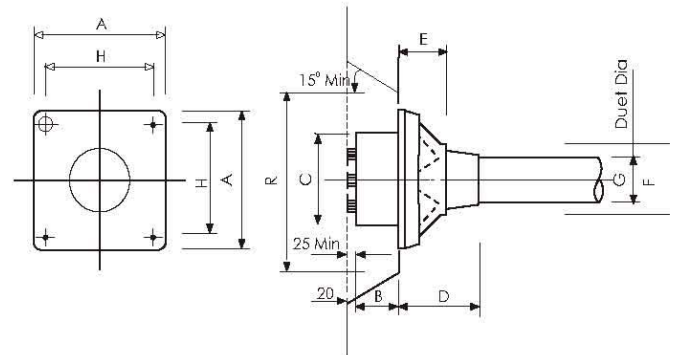
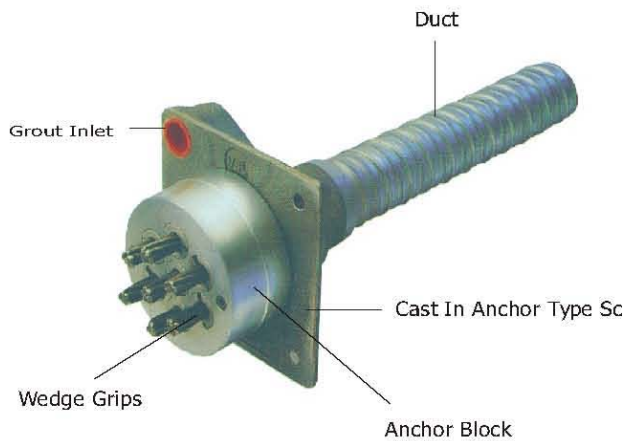
3) If flat ducts (steel or PT PLUS®) to be used with square type castings please contact your VSL representative. In plan view, tendons with slab type anchorages must be straight between anchorages or have only unidirectional turns with min. radii of > 6 m. Strands must always be pushed-in prior to concreting. Eccentricity e: negligible

4) Given values may slightly vary depending on local availability of ducts. They are minimal for most applications. For special cases (long tendons, many curvatures, small radii etc.) greater size duct is recommended – please verify with VSL. In any case the filling ratio (cross-section steel / duct) must not exceed 0.5 (EN523).

5) Please check with the nearest VSL office for the complete anchorage list.

# STRESSING ANCHORAGE

## VSL Stressing Anchorage Type Sc



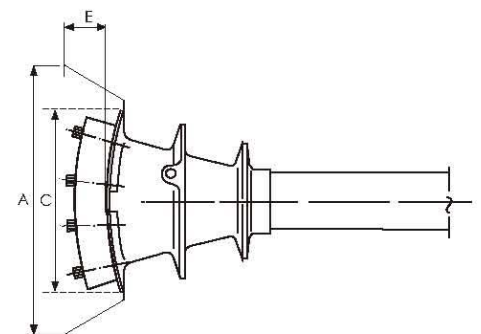
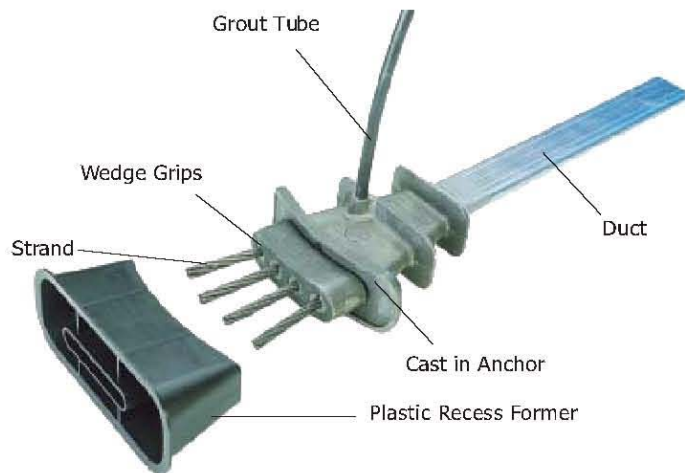
Tendon Unit		Dimension (mm)								
STRAND TYPE 12.7mm		A	B	C	D	E	F	G	H	R
	5-7	165	55	110	100	60	85	51	125	275
	5-12	215	60	150	160	85	120	63	150	320
	5-19	265	75	180	210	110	145	84	200	360
	5-22	290	77	190	215	140	153	90	230	360
	5-27	315	92	220	250	160	176	96	250	360
	5-31	315	92	230	250	160	176	105	250	360
STRAND TYPE 15.2mm										
	6-7	215	60	160	160	85	120	69	150	320
	6-12	265	75	180	210	110	145	84	200	360
	6-19	315	95	220	250	160	175	96	250	360
	6-22	315	100	230	250	160	175	105	250	360
	6-27	370	120	250	320	160	200	115	305	650
	6-31	390	135	290	340	160	217	118	325	650

Dimensions in mm.

Dimensions are valid for :

Nominal concrete strength : 28 MPa (cube), 23 MPa (cylinder), at the time of stressing, for a maximum stressing force of 80% of tendon breaking load.

## VSL Stressing Anchorage Type S

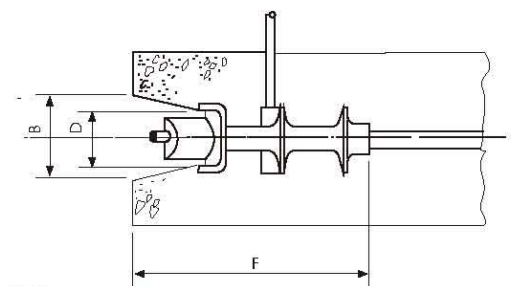


Tendon Unit		Dimension (mm)					
		A	B	C	D	E	F
12.7mm	5-4	265	100	225	70	90	305
	5-5	305	100	265	84	90	315
15.2mm	6-4	265	100	225	70	90	305
	6-5	305	100	265	70	90	328

Dimensions in mm.

Dimensions are valid for :

Nominal concrete strength : 20 MPa (cube), 16 MPa (cylinder), at the time of stressing, for a maximum stressing force of 80% of tendon breaking load.

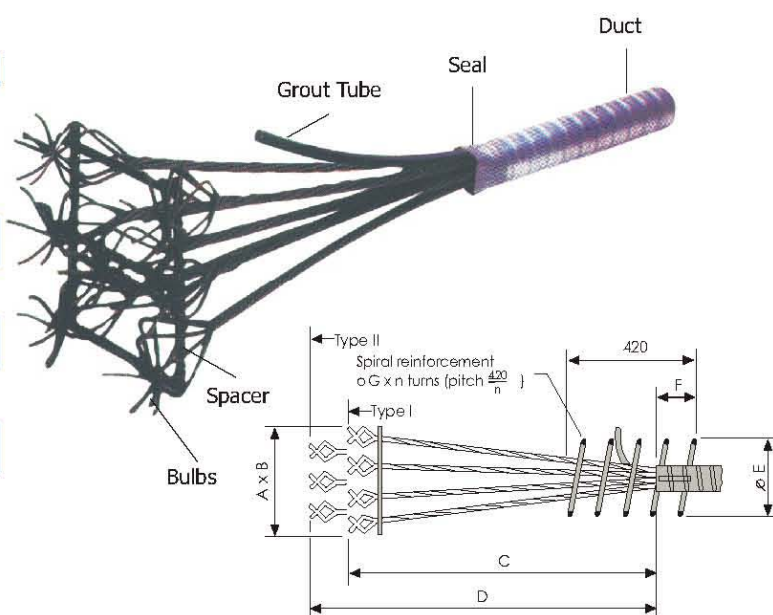




# DEAD END ANCHORAGE

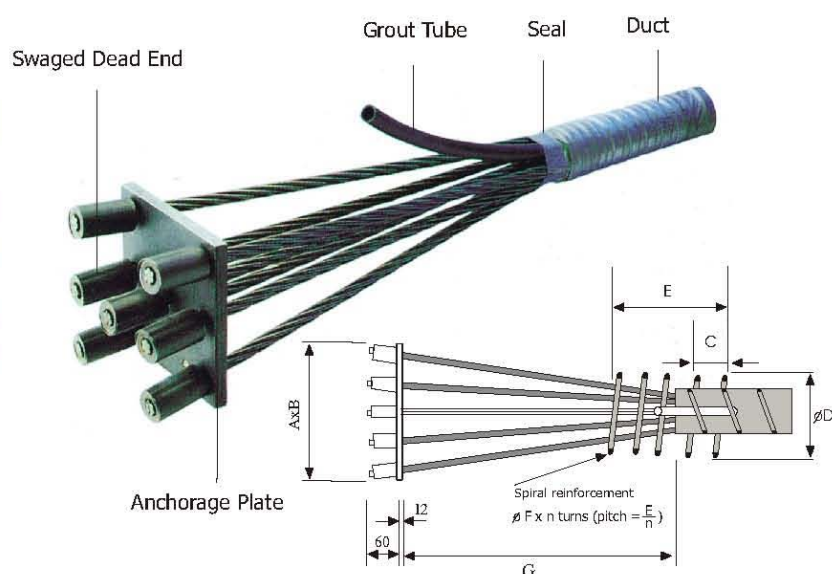
## Dead end Anchorage Type H

Tendon unit		Alternative	Type	Dimension (mm)							
				A	B	C	D	∅ E	F	∅ G	n
STRAND TYPE 12.7mm	5-3	1	I	230	70	930					
	5-4	1	I	310	70	930					
		2	I	150	170	930					
	5-7	1	II	370	70	1130	1280	180	155	13	4
		2	II	170	190	1130	1280	180	155	13	4
	5-12	1	II	350	190	1130	1280	200	155	13	4
		2	I	310	270	1130	1280	200	155	13	4
	5-19	1	II	470	190	1130	1280	230	155	13	5
		2	II	310	390	1130	1280	230	155	13	5
	5-22	1	II	570	190	1130	1280	300	155	16	7
		2	II	390	390	1130	1280	300	155	16	7
	5-31	1	II	670	310	1330	1480	350	155	16	7
	2	II	470	430	1330	1480	350	155	16	7	



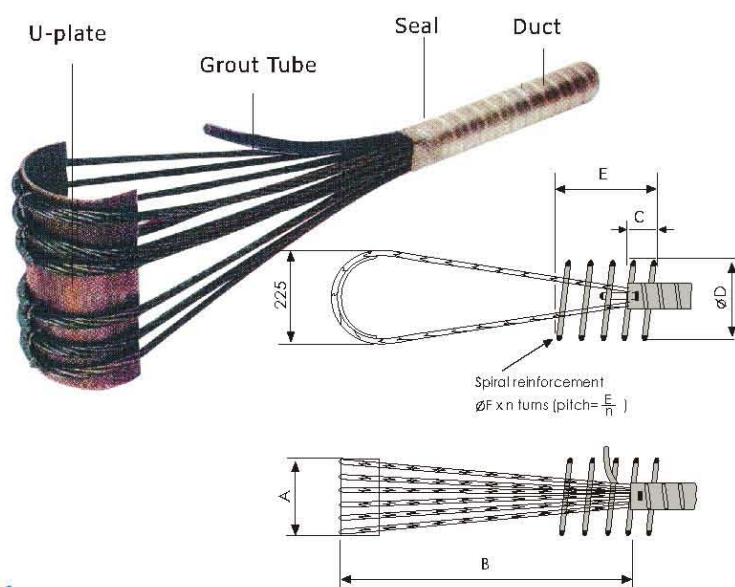
## Dead End Anchorage Type P

Tendon unit		Dimension (mm)							
		A	B	G	C	∅D	E	∅F	n
STRAND TYPE 12.7mm	5-3	100	100	100	80	130	190	8	4
	5-4	120	120	150	80	130	190	8	4
	5-7	150	150	250	80	200	320	13	4
	5-12	200	200	350	80	200	320	13	4
	5-19	250	250	500	80	250	400	13	5
	5-22	300	250	500	130	260	320	16	5
	5-27	300	300	650	130	260	320	16	5
	5-31	350	300	650	130	260	320	16	5



## Dead End Anchorage Type U

Tendon unit		Dimension (mm)						
		A	B	C	∅D	E	∅F	n
STRAND TYPE 12.7mm	5-1	15	600					
	5-3	75	600	80	130	190	8	4
	5-7	165	600	80	200	320	13	4
	5-12	275	700	80	200	320	13	4
	5-19	400	800	80	250	400	13	5
	5-22	440	900	130	260	320	16	5
	5-31	640	1300	130	260	320	16	5



Dimension in mm.

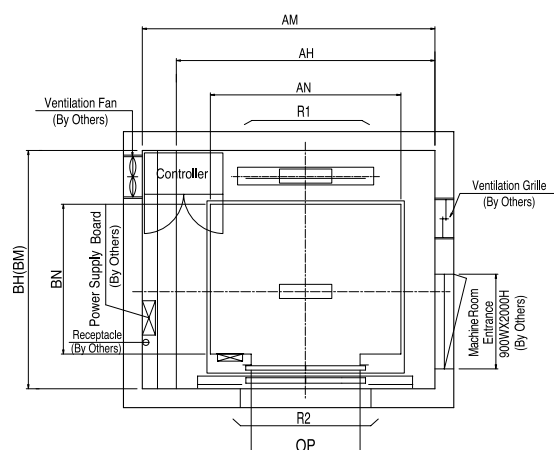
Dimensions are valid for :

- Nominal concrete strength: 28 MPa (cube), 23 MPa (cylinder), at the time of stressing, for maximum stressing force of 80% of the tendon breaking load.
- n: number of spiral turns.

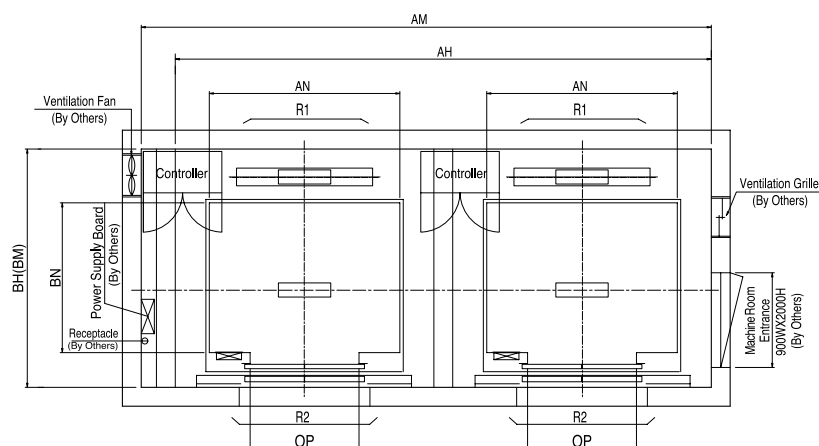
# Technical Data Passenger

## ● Hoistway & Machine Room Plan

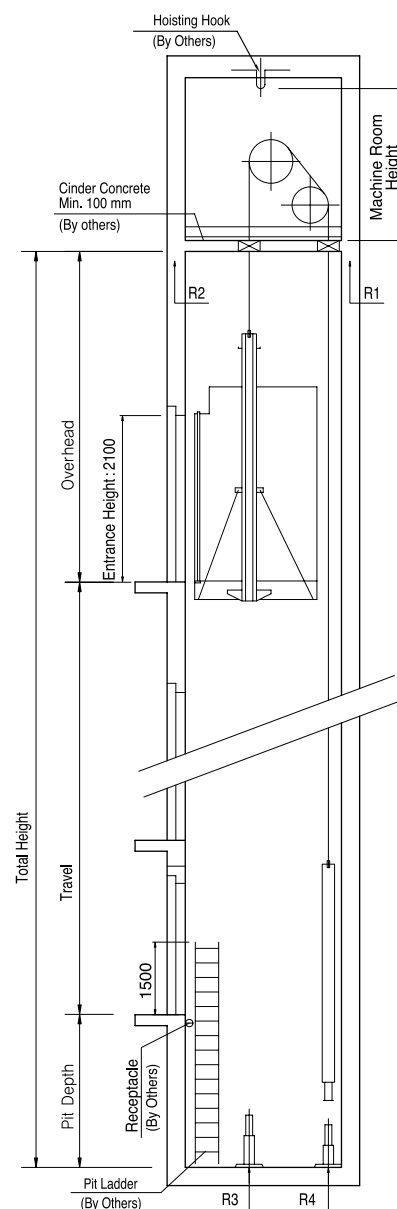
### [Simplex]



### [Duplex]



## ● Hoistway Section



## ● Overhead, Pit & Machine Room Height

Speed (m/s)	Load (kg)	Travel (m)	Overhead (mm)	Pit Depth (mm)	Machine Room Height (mm)	Hook Load (kg)
1.0	450 ~ 1000	TR ≤ 100	4200	1400	2300	3000
	1150 ~ 1600		4300			4500
1.5	450 ~ 1000		4400	1450	2300	3000
	1150 ~ 1600					4500
1.75	450 ~ 1000		4500	1600	2300	3000
	1150 ~ 1600					4500

# Technical Data Passenger

## ● Layout Dimensions | Speed : 1.0 m/s

[Standard]

(Unit : mm)

Speed (m/s)	Capacity		Entrance Opening (mm)	Car Size		Hoistway Size				Machine Room Size				Reaction Load(kg)			
						Simplex		Duplex		Simplex		Duplex		Machine Room		Pit	
	Person	Load(kg)		AN	BN	AH	BH	AH	BH	AM	BM	AM	BM	R1	R2	R3	R4
1.0	6	450	800	1400	850	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	550	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	600	800	1400	1100	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	10	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	17	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
			1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	20	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200				
	24	1600	1100	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450	10200	7000	10950	8700
				2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300				

[EN Code]

1.0	6	450	800	1150	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	3600	2000	3800	3150
	7	525	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	8	600	800	1400	1100	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	9	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	10	800	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	12	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	13	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	16	1250	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
			1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	18	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200				
	21	1600	1100	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450	10200	7000	10950	8700
				2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300				

[Malaysia]

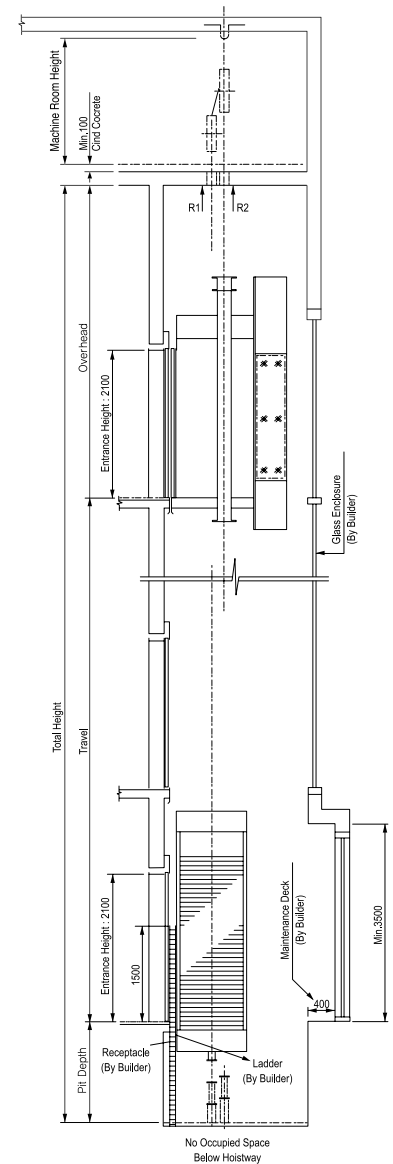
1.0	6	410	800	1400	830	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	545	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	615	800	1400	1150	1800	1800	3750	1800	1800	1800	3750	1800	4100	2500	4700	3450
	10	685	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	885	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1025	900	1600	1550	2000	2200	4150	2200	2000	2200	4150	2200	5450	4300	6650	4700
	17	1160	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
	20	1365	1000	1800	1750	2350	2450	4850	2450	2350	2450	4850	2450	2450	6000	10200	7500
			1100	2000	1550	2550	2250	5250	2250	2550	2250	5250	2250				
	24	1635	1100	2000	1800	2550	2500	5250	2500	2550	2500	5250	2500	10200	7000	10950	8700

# Technical Data Observation

## ● Overhead, Pit & Machine Room Height

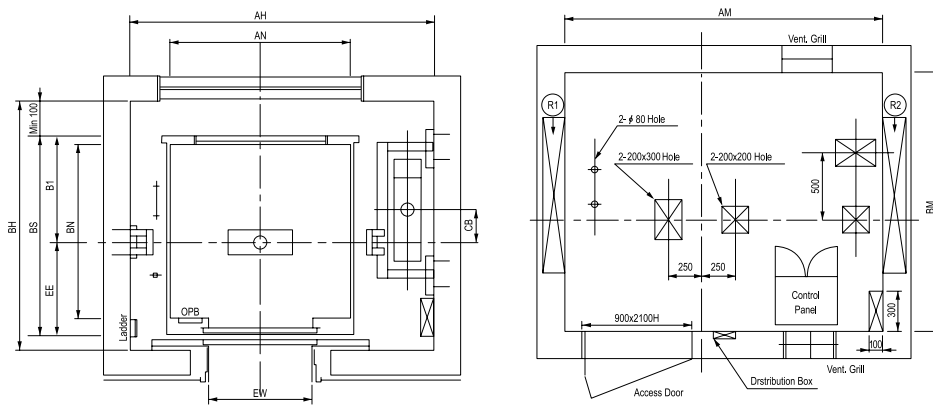
Speed (m/s)	Overhead (mm)	Pit Depth (mm)	Machine Room Height (mm)
1.0	4300	1750	2600
1.5	4500	1900	
1.75	4600	2000	

## ● Hoistway Section



## ● 1 Side View Observation Elevator Layout (OA)

[Hoistway & Machine Room Plan]

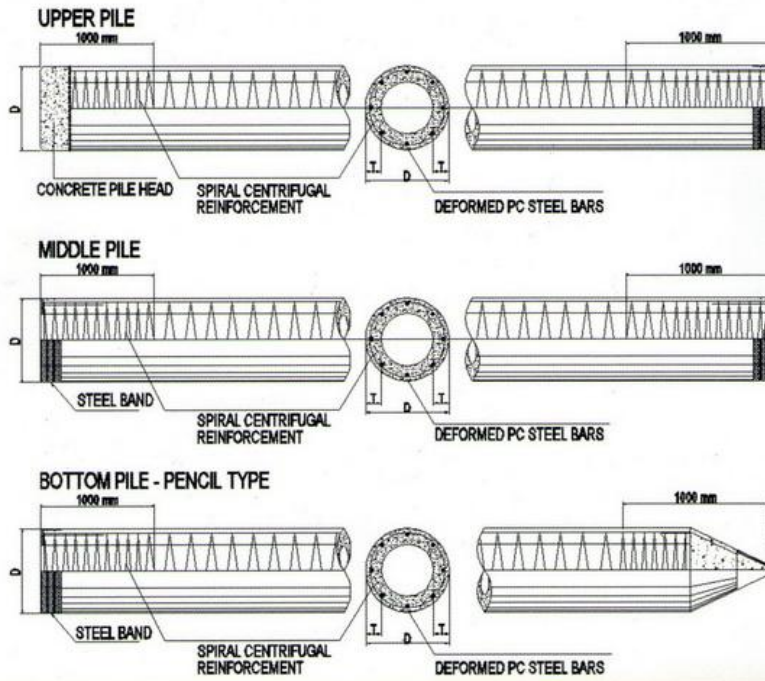


[Layout Dimensions]

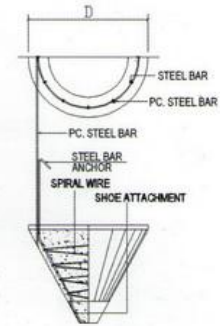
(Unit : mm)

Speed (m/s)	Capacity		Opening (mm)	Car Size		HoistWay Size			Machine Room Size		Reactions(kg)	
	Person	Load(kg)		AN	BN							
						AH	BH	CB	AM	BM	R1	R2
1.0 ~ 1.75	11	750	800	1400	1350	2350	1950	250	2350	1950	5250	3700
	15	1000	900	1500	1600	2500	2200	250	2500	2200	6150	4600
	20	1350	1000	1700	1800	2800	2400	272.5	2800	2400	13100	8850
	24	1600	1000	1800	1940	2900	2550	272.5	2900	2550	13900	9350

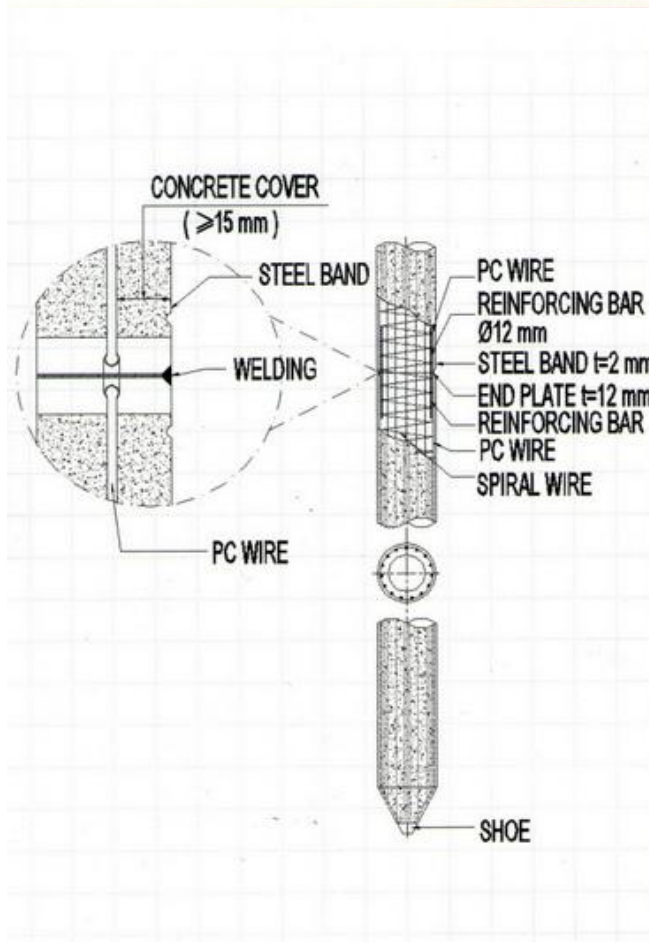
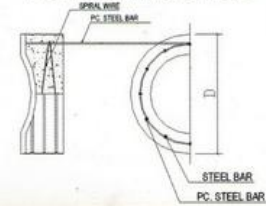




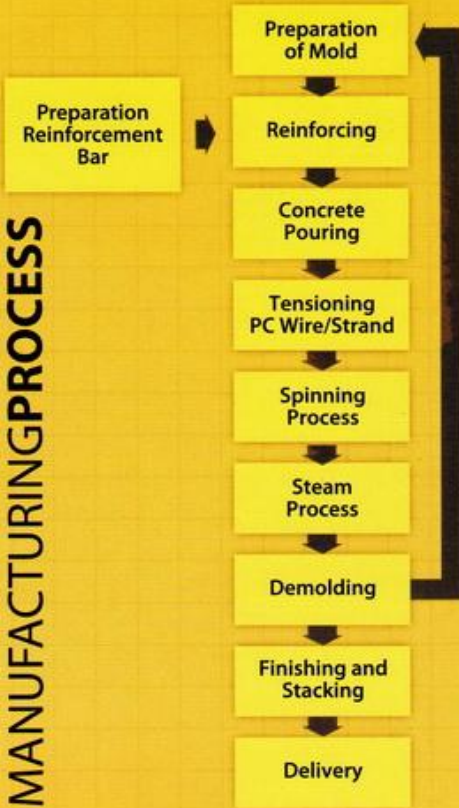
### PC Pencil Shoe



### PC Mamira Shoe



## MANUFACTURING PROCESS



# Standart Specification PC Spun Pile

Dimension		Type of Pile	Length of		Concrete Area	Bending Moment		Nominal Weight	Allowable Axial Load	
Out	Wall		Pile			Crack	Ultimate			
Diameter	Thickness									
( mm )	( mm )		( m )							( t-m )
Φ 250	55	A	6	-	10	337	1,74	2,95	88	55
Φ 300	60	A	6	-	13	452	2,50	4,70	119	65
		B					3,50	7,00		60
		C					4,00	9,00		60
Φ 350	65	A	6	-	15	582	3,50	4,83	151,30	85
		AB					4,20	6,30		89,5
		B	6	-	16		5,00	9,60		80
		C					6,00	13,50		75
Φ 400	75	A	6	-	16	766	5,50	9,40	199,10	115
		AB					6,50	9,75		117,6
		B	6	-	17		7,50	14,20		110
		C					9,00	18,90		105
Φ 450	80	A	6	-	17	929	7,50	12,40	241,80	140
		AB					10,00	15,00		143,8
		B					11,00	21,30		130
		C					12,50	26,00		125
Φ 500	90	A	6	-	17	1159	10,50	15,70	301,40	175
		AB					14,00	21,00		178,2
		B					15,00	29,50		160
		C					17,00	35,10		160
Φ 600	100	A	6	-	17	1571	17,00	23,60	408,40	240
		AB					22,00	33,00		243,2
		B					25,00	46,20		220
		C					29,00	60,20		215



Hammer Piling in  
Paper Mill Project



Stock Pile



Installed Piles

**PT. Beton Prima Indonesia is Committed to His Vision & Mission  
in order to be Quality & Accuracy Trusted Precast Concrete Company**

[Contact Us](#) | [Why Beton Prima Indonesia](#) | [Why Precast Concrete](#)

Copyright © 2011 PT. Beton Prima Indonesia . All Rights Reserved. Developed by [TheMaster](#)



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
**PROGRAM SARJANA LINTAS JALUR**  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK – ITS

**BERITA ACARA PENYELENGGARAAN UJIAN  
SEMINAR DAN LISAN  
TUGAS AKHIR**

Pada hari ini **Kamis** tanggal **12 Juli 2018** jam **09.00 WIB** telah diselenggarakan **UJIAN SEMINAR DAN LISAN TUGAS AKHIR** Program Sarjana Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS bagi mahasiswa:



NRP	Nama	Judul Tugas Akhir
03111645000022	Yogi Dwi Hakiki Putra	Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A Bekasi Dengan Menggunakan Sistem Ganda Dan Balok Pratekan Pada Lantai 18

Dengan Hasil :

<input type="checkbox"/> Lulus Tanpa Perbaikan	<input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Seminar dan Lisan
<input checked="" type="checkbox"/> Lulus Dengan Perbaikan	<input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Lisan

Dengan perbaikan/penyempurnaan yang harus dilakukan adalah :

- Gambar per tulangan & kolom 1 & betulkan.
- Betulkan hal 287 dst (a & b)
- Gambar potongan tiang pancang & perbaiki.
- Menghitung torsi & perbaiki hal 180 dst
- Tu & perbaiki.

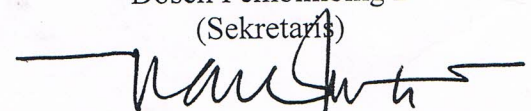
Tim Penguji (Anggota)	Tanda Tangan
Data Iranata, ST. MT. PhD	
Bambang Pisceca, ST. MT	

Surabaya, 12 Juli 2018  
Dosen Pembimbing I  
(Ketua)



**Endah Wahyuni, ST. MSc. PhD**

Dosen Pembimbing 2  
(Sekretaris)



**Dr. Ir. Djoko Irawan, MS**



Form AK/TA-04  
rev01

**PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS**  
**LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)**

Jurusan Teknik Sipil lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: ENDAH WAHYUNI, S.T, M.Sc, Ph.D.
NAMA MAHASISWA	: YOGI DWI HAKIKI PUTRA
NRP	: 03111645000022
JUDUL TUGAS AKHIR	: MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN LAGOON RESORT TOWERA BEKASI DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM GANDA DAN BALOK PRATEKAN PADA LANTAI 10
TANGGAL PROPOSAL	: 24 JANUARI 2018
NO. SP-MMTA	: 025848/IT2.V1.4.1/PP.05.02.00/2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	22-03-2018	Preliminary Desain dibetulkan - dimensi balok induk - dimensi kolom	Preliminari dibedakan. - dilanjutkan perhitungan struktur sekunder	ES
2	28-03-2018	- Balok anak didesain supaya Pieru mendekati Prim - Shear wall ditambah - balokan tangga dengan bordes berbeda tergantung kebutuhan.	- Balok anak dibetulkan - dilanjutkan perhitungan struktur sekunder yg lain	ES
3	3-04-2018	- Asistensi SAP cara melihat/ mengecek sistem ganda pada SAP	- SAP dilanjutkan dan dibetulkan	ES
4	10-04-2018	- Reduksi beban hidup - Perhitungan gaya geser dasar pada SAP - kontrol simpangan	- Berat struktur, beban hidupnya direduksi 0,5	ES
5	27-04-2018	- Simpangan dipitih yg max pada SAP - Partisipasi massa terlalu besar	- tangga dan lift pada SAP dihilangkan dan dibant beban	ES
6	4-5-2018	- SAP sudah benar (kontrol Partisipasi massa, T, V, &)	- dilanjutkan perhitungan struktur primer	ES





Form AK/TA-04  
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: ENDAH WAHYUNI, ST, MT, Ph.D.
NAMA MAHASISWA	: YOGI DWI HAKIKI PUTRA
NRP	: 03111645000022
JUDUL TUGAS AKHIR	: MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN LAGOON RESORT TOWER A BEKASI DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM GANDA DAN BALOK PRATEKAN PADA LANTAI 18
TANGGAL PROPOSAL	: 24 JANUARI 2018
NO. SP-MMTA	: 025848 / IT2.VI4.1 / PP.05.02.00 / 2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
7	11-5-2018	- Perhitungan balok masih salah karena kombinasi terbesar bukan dari beban angin - SAP dicek lagi	- Beban angin di SAP dicek lagi - Buat kombinasi ENVELOPE	
8	18-5-2018	- Pengambilan gaya-gaya dalam dari SAP untuk perhitungan balok, kolom, shear wall	- Lanjut perhitungan balok pratekan	
9	20-5-2018	- Perhitungan balok pratekan sampai kehilangan pratekan	- perhitungan pratekan sampai pemasangan tendon	
10	7-6-2018	- Kehilangan pratekan dicek - perhitungan tulangan tumpuan	- Dilanjutkan perhitungan pondasi dan gambar	
11	25-5-2018	- cek laporan dan gambar		



Form AK/TA-04  
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Dr. Ir. Djoko Kawan, MS
NAMA MAHASISWA	: YOGI DWI HAKIKI PUTRA
NRP	: 03111645000022
JUDUL TUGAS AKHIR	: MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN LAGOON RESORT TOWER A BEKASI DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM GANDA DAN BALOK PRATEKAN PARALAN TAL 18
TANGGAL PROPOSAL	: 24 JANUARI 2018
NO. SP-MMTA	: 025848 / IT2.VI4.1 / PP.05.02.00/2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	23-03-18	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Representasi TA</li> <li>- Tulangan Pelat diganti</li> <li>- Preliminari desain diganti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prelim balok dibedakan</li> </ul>	23/03/18
2	5-4-2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perhitungan balok arah</li> <li>- Perhitungan balok lift</li> <li>- Perhitungan tangga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tulangan diperkecil jumlah diperbanyak</li> <li>- meletak tangga dibetulkan</li> </ul>	07/04/18
3	23-4-2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dicari perhitungan manual dan dibandingkan dengan SAP</li> <li>- Gramsar penulangan tangga dibetulkan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tulangan arah bentang</li> <li>- Bendah dihitung dengan tulangan swast (tangga)</li> </ul>	23/04/18
4	22-5-2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dicari angkur di browser</li> <li>- Pratekan digabung dengan balok kantilever</li> <li>- Belajar tegangan &amp; pratekan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dimensi balok pratekan dgn kantilever disamakan</li> <li>- metode pelaksanaan saat tranjer memenuhi, saat beban lagan tidak memenuhi, ganti metpel</li> <li>- pangsang reketif angkur mahi</li> <li>- menghitung lendutan dengan acelang balok kantilever</li> </ul>	



Form AK/TA-04  
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Dr. Ir. Djoko Irawan, MS
NAMA MAHASISWA	: YOGI DWI HAKIKI PUTRA
NRP	: 03111645000022
JUDUL TUGAS AKHIR	: MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN LAGOON RESORT TOWER A BEKASI DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM BANDA DAN BALOK PRATEKAN PADA LANTAI 18
TANGGAL PROPOSAL	: 24 JANUARI 2018
NO. SP-MMTA	: 025898 / IT2.V14.1/ PP.05.02.00/2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
5	28-5-2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balok pratekan diganti balok T</li> <li>- posisi tendon dihitung</li> <li>- kehilangan pratekan akibat angkur masih dihitung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perhitungan balok pratekan sampai hilangnya tumpuan</li> </ul>	
6	21-06-2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cek laporan TA</li> <li>- Cek Gambar</li> <li>- Perhitungan pondasi dicek daya dukung tanah yg.</li> </ul>		
7	25-08-2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pondasi dicek lagi</li> <li>- daya dukung dicek</li> <li>- jumlah tiang masih terlalu banyak</li> </ul>		

## BIODATA PENULIS



**Yogi Dwi Hakiki Putra**, dilahirkan di Surabaya, 02 November 1995, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Alizah Surabaya lulus tahun 2001, SDN Bubutan IV Surabaya lulus tahun 2007, SMP Negeri 3 Surabaya lulus tahun 2010, SMA Negeri 4 Surabaya lulus tahun 2013, D3 Teknik Sipil ITS Surabaya lulus tahun 2016. Penulis melanjutkan studi lintas jalur S1 Teknik Sipil ITS tahun 2016 dan terdaftar dengan NRP 3116105022

atau 03111645000022. Selama menjalankan studi di kampus ITS, penulis aktif dalam Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) bidang olahraga catur. Penulis pernah mengikuti pertandingan catur tingkat mahasiswa yang diselenggarakan di beberapa universitas, diantaranya PETRA, UNAIR, UBAYA, UNY, UPI, POLBAN, ITB, UNPAD, UB. Prestasi terbaik yang pernah diperoleh yaitu juara 1 *Airlangga Chess Tournament (ACT)* tahun 2016 dan juara 1 *Petra Chess Competition (PCC)* tahun 2016. Pada tahun 2018, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir bidang struktur dengan judul “Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Lagoon Resort Tower A Bekasi dengan Menggunakan Sistem Ganda dan Balok Pratekan pada Lantai 18”. Penulis dapat dihubungi melalui *email*: *yogidwihp@gmail.com* atau *line*: *yogidwihp*.